



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Estudo, Avaliação e Propostas de melhoria para a
Climatização do edifício Biorama do Parque Biológico de Vila
Nova de Gaia**

João Filipe Rodrigues Diamantino

Estudo, Avaliação e Propostas de melhoria para a Climatização do edifício Biorama do
Parque Biológico de Vila Nova de Gaia

Candidato: João Filipe Diamantino, N° 1081603, 1081603@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Professor Doutor Christopher Silva Alves De Sá, cas@isep.ipp.pt

Mestrado em Engenharia Mecânica- ramo Energia
Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto



25 de novembro de 2014

When you don't give up, you cannot fail

Agradecimentos

Para a elaboração deste trabalho contei com a ajuda e disponibilidade de algumas pessoas. Sem essa colaboração a realização desta dissertação não seria possível.

Agradeço à minha companheira Sara Comba, pela disponibilidade, trabalho e compreensão.

Agradeço ao Arquiteto Francisco Saraiva pela preocupação, disponibilidade e ajuda fornecida.

Acima de tudo, ao Engenheiro Christopher Sá porque verdadeiramente sem ele não teria sido possível alcançar este resultado. Agradeço o tempo, a disponibilidade, a compreensão e o muito trabalho despendido em meu favor.

Resumo

A eficiência energética e a preocupação com a sustentabilidade têm vindo a ganhar preponderância na sociedade moderna. Este trabalho é uma contribuição para esta tendência onde se pretendeu avaliar e sugerir alterações ao sistema de climatização do edifício Biorama do Parque Biológico de Vila Nova de Gaia (PBG).

Procedeu-se em primeiro lugar a uma caracterização física, química e geográfica dos 5 biomas constituintes do Biorama. Para isso, recorreu-se a documentos fornecidos pelo próprio PBG, visitas ao local e registo de medições de alguns parâmetros (temperatura, humidade relativa, qualidade do ar).

Posteriormente foi realizado o balanço térmico dos edifícios, de acordo com a legislação em vigor, recorrendo a expressões e conceitos teóricos. Foram determinados valores dos ganhos térmicos de aquecimento de 15811, 10694, 7939, 9233, e 6621 kWh/ano para Floresta tropical, Mesozoico, Dunas, Savana e Deserto, respetivamente. Foram igualmente determinados valores dos ganhos térmicos no verão de 7093, 4798, 3560, 4144 e 2971 kWh na Floresta tropical, no Mesozoico, nas Dunas, na Savana e no Deserto, respetivamente. As cargas térmicas de aquecimento foram 149, 125, 47, 60 e 51 kW na Floresta tropical, no Mesozoico, nas Dunas, na Savana e no Deserto, respetivamente. As cargas térmicas de arrefecimento foram iguais a 59, 57, 47, 35 e 36 kW na Floresta tropical, no Mesozoico, nas Dunas, na Savana e no Deserto, respetivamente.

Algumas soluções são avançadas, bem como alternativas comportamentais de modo a corrigir alguns problemas identificados. Uma proposta é a da instalação de painéis solares e acumuladores de calor, com os quais se estima um ganho médio conjunto de 500 W em cada bioma, e representam um investimento de 1050 euros e terão um retorno de 1 ano. Em relação à humidade é sugerido a utilização mais eficaz dos aspersores existentes e a utilização de esponjas, para fazer subir a humidade relativa para valores superiores a 80%. Em sentido inverso, no inverno, propõem-se a utilização de material higroscópico para fazer baixar a humidade relativa em cerca de 5%. Os custos com os suportes e o material higroscópico rondam os 250 €. Por fim, é sugerido a instalação de um aparelho de ar condicionado de 16 000 BTU no corredor de ligação, pois é a única forma de garantir

condições de conforto térmico. Esta proposta de arrefecimento com ar condicionado e ainda o recurso a uma cortina de lâminas de plástico, que servem para efetuar uma separação mais eficiente entre ar frio e ar quente, têm um custo aproximado de 350 €. É ainda sugerida a utilização de lonas ou de uma planta trepadeira com um custo por planta de 5€, nas coberturas dos telhados virados a sul, sendo que a zona do corredor deverá ser totalmente coberta, a fim de evitar a exposição solar direta.

Palavras-Chave

Eficiência Energética, Temperatura, Humidade, Biorama, Certificação energética

Abstract

Energy efficiency and the concern for sustainability have been gaining more dominance in modern society. In this work we intend to review and suggest corrections to the problems of climate control of Biorama in the Vila Nova de Gaia Biological Park (PBG), taking into account these concepts and concerns.

Proceeded to the physical, chemical and geographical characterization of the 5 constituents-biomes of Biorama. For this, we used the documents provided by PBG, site visits and measurements of registration of some parameters (temperature, relative humidity, air quality). It has also been estimated in detail the thermal balance of the buildings, according to the legislation in force, using expressions and theoretical concepts.

Afterwards, we did the heat balance of buildings, in accordance with the legislation in force, using expressions and theoretical concepts. Were determined values of thermal gains heating 15811, 10694, 7939, 9233, and 6621 kWh / year for Rain forest, Mesozoic, Dunes, Desert and Savannah, respectively. Were equally determined values of thermal gains in summer, 7093, 4798, 3560, 4144 and 2971 kWh in the Rain forest, the Mesozoic, the Dunes in Savannah and in the Desert, respectively. The thermal loads of heating were 149, 125, 47, 60 and 51 kW in Rain forest in the Mesozoic, the Dunes in Savannah and in the Desert, respectively. The thermal loads of cooling were equal to 59, 57, 47, 35 and 36 kW in Rain forest in the Mesozoic, the Dunes in Savannah and in the Desert, respectively.

Some solutions are advanced and behavioral alternatives to correct some problems identified. One proposal is the installation of solar panels and heat accumulators, with which it is estimated an average gain set of 500 W in each biome, and represent an investment of 1050 euros and will have a 1 year return. With respect to humidity is suggested as the most efficient use of existing nozzles and using a sponge, to raise the relative humidity to above 80%. In the opposite direction in winter propose the use of hygroscopic materials to lower the relative humidity at about 5%. The cost of the supports and the hygroscopic material are around € 250. Finally, it is suggested the installation of an air conditioner 16,000 BTU in the connecting corridor as it is the only way to ensure thermal comfort conditions. This proposal cooling with air conditioning and even the use

of a curtain of plastic sheeting, which serve to make a more efficient separation of cold air and hot air, which cost approximately € 350. It also suggests using pads or a climbing plant with a cost per plant of € 5, on the covers of roofs facing south, and the area of the corridor should be completely covered in order to avoid direct sun exposure.

Keywords

Energy Efficiency, Temperature, Humidity, Biorama, Energy certification

Résumé

L'efficacité énergétique et la préoccupation avec le développement durable gagne de plus en plus de prépondérance dans la société moderne. Ce travail prétend évaluer et suggérer des corrections aux problèmes de climatisations dans le *Biorama do Parque Biológico de Vila Nova de Gaia (PBG)*, en tenant compte ces concepts et ces préoccupations.

Tout d'abord, on a procédé à une caractérisation physique, chimique et géographique des installations. Pour cela, on s'est soutenue de documents du propre PBG, de visites au local et de recueillement de mesurages, ainsi comme le web, avec Google maps. On a également estimé de forme détailler la balance thermique des édifices, en accord avec la législation en vigueur, en recourant à des expressions et concepts théoriques.

On a déterminé les valeurs des gains de chaleur thermique de chaque biome, 15811 kWh / an pour la forêt tropicale, 10694 kWh / an dans le Mésozoïque, 7939 kWh / an pour les Dunes, 9233 kWh / an à Savannah et 6621 kWh / an désert. Nous avons déterminé les valeurs des gains de chaleur en été de 7093 kWh dans la forêt tropicale, 4798 kWh dans le Mésozoïque, les Dunes 3560 kWh, 4144 kWh en 2971 et Savannah dans le désert. On a aussi calculé les valeurs des charges thermiques respectives de chauffage et de refroidissement. Les charges de chauffage thermique étaient de 149 kW dans la forêt tropicale, 125 kW dans Mésozoïque, 47 kW dans les Dunes, 60 kW et 51 kW sur le désert de Savannah. Les charges de refroidissement thermiques ont été égales à 59 kW dans la forêt tropicale, 57 kW en Mésozoïque, 47 kW en Dunas, 35 kW et 36 kW à Savannah dans le désert.

Des solutions ont été avancées, bien comme des alternatives comportementales de forme à corriger les problèmes énoncés. Des solutions d'échauffement à travers de l'installation de panneaux solaires et accumulateurs de chaleur, sont estimés avec un gain moyen, dans son un ensemble de 500 W dans chaque biome, et représentent un investissement de 1050 euros et un rendement de 1 an. En relation à l'humidité, on suggère l'utilisation plus efficace des arroseurs existants et l'utilisation d'éponges, pour faire augmenter l'humidité jusqu'à des valeurs supérieures à 80%. Dans le sens inverse, en hiver, on propose l'utilisation de matières hygroscopiques pour faire baisser l'humidité relative en a peu près

5%. Les coûts avec les supports et les matières hygroscopiques sont à peu près de 250€. Finalement, on suggère l'installation d'un appareil de climatisation de 16 000 BTU dans le couloir de liaison, puisque c'est le seul moyen de garantir les conditions de confort thermique. Cette proposition de refroidissement avec un appareil de climatisation et aussi l'utilisation d'un rideau de lamelles de plastiques, qui servent de séparation plus efficace entre le froid et la chaleur, ont un coût approximatif de 350€. On suggère l'utilisation de bâches ou d'une plante grimpante de 5€ chaque plante, dans les couvertures des toits orientés vers le sud. Cependant, la zone du couloir doit être totalement couverte, à fin d'éviter l'exposition solaire directe.

Mots-clés

Efficacité, température, humidité, Biorama, Certification énergétique

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT.....	V
RÉSUMÉ	VII
ÍNDICE.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS.....	XIII
NOMENCLATURA	XV
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. INTRODUÇÃO AO CONCEITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUA IMPORTÂNCIA.....	17
1.2. ENERGIA EM PORTUGAL	18
1.3. OBJETIVOS	26
1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	27
2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO BIORAMA.....	29
2.1. O BIORAMA	29
2.2. IDENTIFICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO E DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO BIORAMA	30
2.3. CLIMATIZAÇÃO DO EDIFÍCIO.....	35
A) FLORESTA TROPICAL.....	37
B) MESOZOICO	38
C) DUNAS.....	39
D) SAVANA.....	40
E) DESERTO.....	40
2.4. BALANÇO ENERGÉTICO DO EDIFÍCIO	41
2.5. SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DE CLIMATIZAÇÃO DO BIORAMA	67
2.6. ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR	78
3. CONCLUSÕES.....	85
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	87
ANEXO A. DADOS FORNECIDOS PELO PBG.....	89
ANEXO B. CÁLCULO DETALHADO DO CLTD.....	93
ANEXO C. CÁLCULO DETALHADO DA CARGA TÉRMICA	99
ANEXO D. CÁLCULO DA POTÊNCIA DO PAINEL SOLAR.....	101

ANEXO E. ANÁLISE DE INVESTIMENTOS.....	108
ANEXO F. CÁLCULO DETALHADO DO CAUDAL DE AR	109

Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição do consumo da energia primária (kTep/ano) por sector em Portugal [2]	18
Figura 2 - Dependência energética dos estados membros da UE 27 em 2012 [1]	19
Figura 3 - Esquema dos principais programas do PNAEE [3]	25
Figura 4 - Vista aérea da localização do Biorama no PBG [fonte: maps.google.pt 2014]	31
Figura 5 - Pormenor dos materiais de construção dos edifícios	31
Figura 6 - Corte Transversal da estrutura dos edifícios.....	32
Figura 7 - Planta do conjunto de edifícios do Biorama	33
Figura 8 - Foto de perfil do Biorama, entrada sul [fonte: maps.google.pt 2014]	34
Figura 9 - Foto de perfil sudoeste do Biorama [fonte: maps.google.pt 2014]	35
Figura 10 - Foto de uma das aberturas com grelhas [fonte: maps.google.pt 2014]	36
Figura 11 - Esquema de funcionamento do sistema de convecção natural	36
Figura 12 – Esboço exemplo do painel solar.....	68
Figura 13 - Esquema de funcionamento do painel solar	69
Figura 14 -Acumulador Elétrico	74
Figura 15 - Exemplo da cortina de lâminas de plástico	77
Figura 16 - Exemplo de um telhado coberto por vegetação	77
Figura 17 - Sonda multiparamétrica <i>Graywolf IQ 610</i>	80
Figura 18 - Sonda <i>Radon Scout Plus</i>	81
Figura 19 - Diagrama de um permutador tubos com uma passagem na carcaça	105

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tipo de Energia importada para Portugal (Milhares tep/ano) [2]	19
Tabela 2 - Exemplos de alguns fatores de conversão.....	22
Tabela 3 - Medidas de comprimento e altura de cada edifício do Biorama	33
Tabela 4 - Quadro das medições as temperaturas e humidades do Biorama	37
Tabela 5 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para o Bioma Floresta tropical.....	38
Tabela 6 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para o ambiente Mesozoico.....	39
Tabela 7 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para o ambiente da Dunas.....	39
Tabela 8 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para a Savana.....	40
Tabela 9 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para o Deserto.....	40
Tabela 10 -Fator de Orientação [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág 2489].....	43
Tabela 11 - Valores do fator de sombreamento horizontal [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág 2499]	44
Tabela 12 - Fator solar para envidraçados em plástico [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág 2498] [19]	45
Tabela 13 - Áreas efetivas dos vários biomas	45
Tabela 14 - G_{sul} [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág 2484] [19]	46
Tabela 15 - Duração da estação de aquecimento [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág 2481] [19]	46
Tabela 16 - Ganhos externos de cada bioma	46
Tabela 17 - Valores médios da temperatura do ar e da intensidade da radiação solar nos meses de arrefecimento [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág: 2484] [19].....	47
Tabela 18 - Áreas efetivas dos vários biomas	48
Tabela 19 - Ganhos Externos do Verão	48
Tabela 20 - Valores do coeficiente térmico linear [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág: 2494] [19].....	51
Tabela 21 -Resultados das perdas totais pela envolvente do Biorama.....	52
Tabela 22 - Valores das perdas térmicas da envolvente de cada bioma.....	53
Tabela 23 - Valores para as temperaturas e humidades interior e exterior de cada Bioma	54
Tabela 24 - Resultado da perda térmica por ventilação de cada Bioma.....	55
Tabela 25 - Carga térmica de Aquecimento de cada Bioma	55

Tabela 26 - Valores das áreas expostas às respetivas orientações	56
Tabela 27 - Caracterização climática e geográfica do Biorama	57
Tabela 28 - Ganhos por condução da parede de chapa	59
Tabela 29 - Ganhos por condução dos envidraçados	59
Tabela 30 - Resultados dos ganhos solares para o bioma Floresta Tropical	61
Tabela 31 - Ganhos internos provocados pelos ocupantes em qualquer Bioma	62
Tabela 32 - Ganhos devido à ventilação	63
Tabela 33 - Valores máximos para a carga térmica de Arrefecimento	63
Tabela 34 - Caudais de ar gerados para o efeito chaminé no verão	67
Tabela 35 - Calor transportado por convecção	67
Tabela 36 - Características do painel solar	70
Tabela 37 - Resultados para as potências da radiação incidente num painel	73
Tabela 38 - Potência fornecida ao ar por um painel	73
Tabela 39 - Comparação das temperaturas interiores com as temperaturas de saída do painel	74
Tabela 40 - Valores da potência do acumulador para uma temperatura de saída de 26°C	75
Tabela 41 - Concentrações máximas das poluentes recomendadas	80
Tabela 42 - Resultados das medições realizadas	80
Tabela 43 - Resultados das medições ao Radão na Floresta Tropical e na Savana	81
Tabela 44 - Resultados das medições efetuadas às partículas suspensas PM ₁₀	82
Tabela 45 - Resultados do $\Delta t \ln$ para os diferentes biomas.....	103
Tabela 46 - Dimensões de uma lata de refrigerante típica	104
Tabela 47 - Resultados para os fatores diversos fatores.....	105
Tabela 48 - Resultados do cálculo da potência do painel.....	106
Tabela 49 - Potência fornecida ao ar por um painel	107
Tabela 50 - Resumo dos resultados da análise financeira	108

Nomenclatura

Caracteres Romanos

- Tep. – Tonelada equivalente de petróleo
- cp – Calor específico a pressão constante [J/kg.K]
- D – Diâmetro [m]
- p – Pressão [Pa]
- Δt – Intervalo de tempo [s]

Abreviaturas

- SGCIE – *Sistema de gestão dos consumos intensivos de energia*
- ADENE – *Agência para a Energia*
- PBG – *Parque Biológico de Gaia*
- PIB – *Produto interno bruto*
- RCCTE – *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*
- RGCE – *Regulamento de gestão dos consumos de energia*
- PNAEE – *Plano Nacional de Ação em Eficiência Energética*
- PNAER – *Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis*
- COP – *Conference of the Parties*

1. Introdução

1.1. Introdução ao conceito de eficiência energética e sua importância

Uma sociedade pode ser definida pelo relacionamento entre pessoas, mas também pelas atividades desempenhadas e o sobrevalor criado. Será, então, justo afirmar que os serviços e as indústrias são motores impulsionadores de qualidade de vida. Ora, resta dizer que o precursor das indústrias é a energia.

Portugal é um país pobre em recursos energéticos e, por isso, muito dependente do mercado exterior. O saldo energético revela que apenas 22,6% da energia primária consumida é produzida internamente. [1] Como tal, as linhas estratégicas da política energética nacional assentam em dois pilares: o da eficiência e o do aproveitamento de todos os recursos (maioritariamente renováveis).

Da totalidade da energia primária (ver Figura 1), uma parte, cerca de 31,5% é destinada ao setor energético e consumida na produção de energia secundária. Outra parte tem como destino os outros setores da economia, indústrias, transportes, serviços, que recebem os restantes 68,5%, que correspondem a 15 591 176 tep/ano. [2]

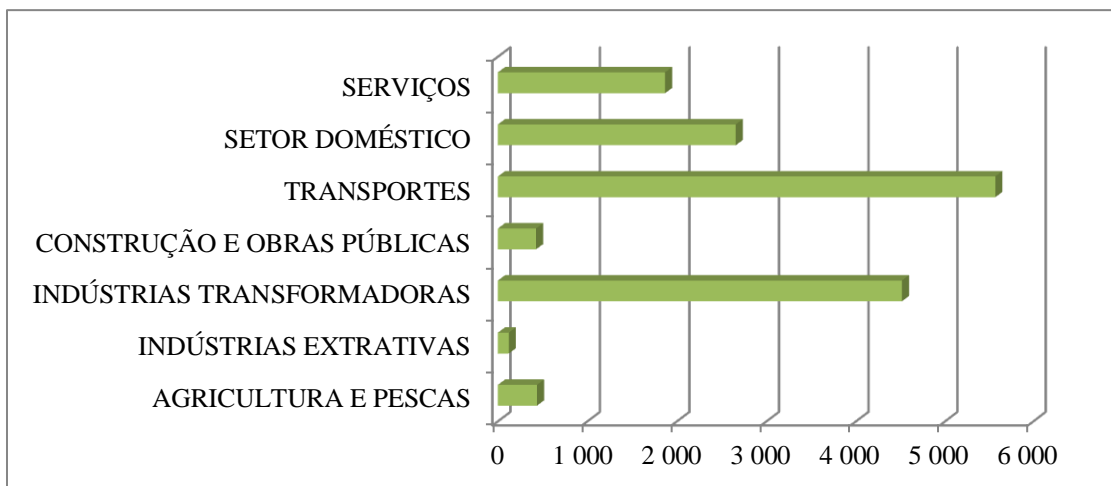


Figura 1 - Distribuição do consumo da energia primária (kTep/ano) por sector em Portugal [2]

Os transportes aparecem como o grande sorvedouro de energia com 35,7% da energia primária consumida, enquanto a indústria transformadora, que é a grande contribuidora para o Produto Interno Bruto (PIB), é responsável por 28,9% do consumo energético. [2]

Um dos principais problemas com o país é o da sua dependência energética do exterior. Isto deve-se aos escassos recursos naturais e tem levado o país a apostar nas energias renováveis e na utilização mais racional da energia. Mesmo assim o preço de compra da energia não tem diminuído.

1.2. Energia em Portugal

Dependência energética é entendida como a diferença entre a energia produzida domesticamente e a energia importada ao exterior de forma a colmatar as necessidades de consumo. A dependência energética de Portugal é cerca de 79,5% (ver Figura 2), o que torna o país num dos países com uma das mais altas taxas de dependência energética na Europa. [1]

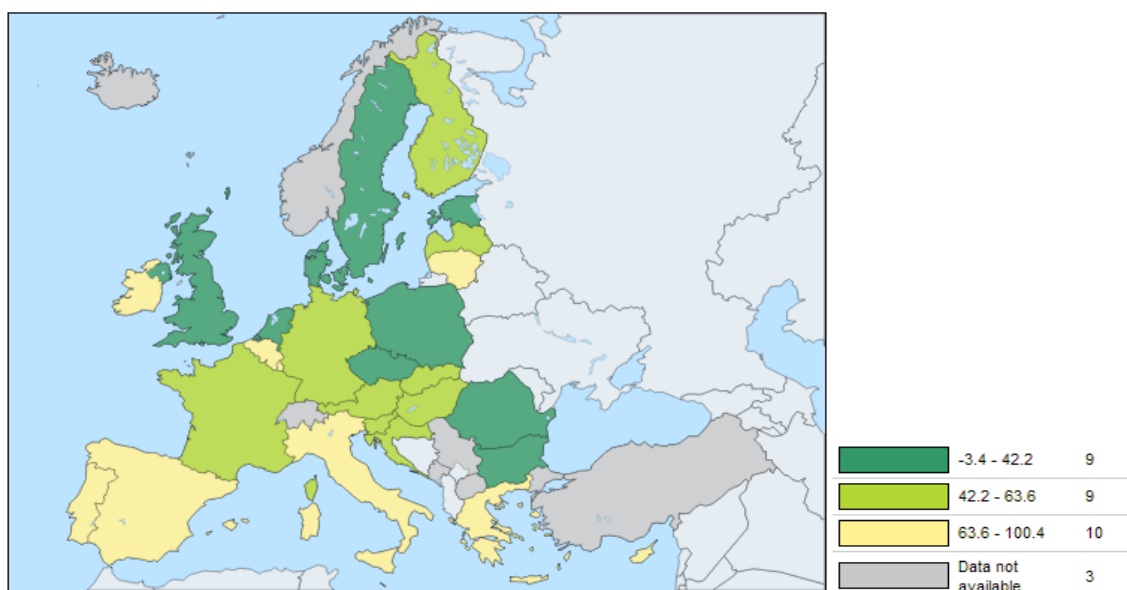


Figura 2 - Dependência energética dos estados membros da UE 27 em 2012 [1]

Como seria de esperar, o petróleo e o gás natural são líderes entre os bens energéticos importados, conforme se pode verificar na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipo de Energia importada para Portugal (Milhares tep/ano) [2]

Vetor Energético	Total de Carvão	Total de Petróleo Energético	Total de Petróleo Não Energético	Gás Natural	Total de Eletricidade	Resíduos Industriais	Renováveis Sem Eletricidade	Total
Importações	3.098	14.366	221	3.938	925		45	22.593
Produção Doméstica					1.501	160	3.202	4.863

A conservação e utilização mais eficiente da energia também têm vindo a ser uma preocupação da sociedade. Nos últimos tempos tem-se verificado uma inflexão nas políticas e preocupações dos quadros de gestão das empresas e fornecedores de serviços. A atestar esta inversão de mentalidade está a implementação de medidas e de procedimentos para assegurar a racionalização e promover a eficiência energética que visa a diminuição do consumo de energia através da introdução de novas tecnologias, modificação dos processos de fabrico e mudança de comportamentos, como medidas para a redução de consumo e custo de energia. Estas medidas incluem ainda a eficiência, utilização manutenção dos equipamentos, que posteriormente assegurará o seu bom desempenho

energético, sem colocar em causa a qualidade da produção, levando a uma diminuição dos custos associados.

É impossível dissociar a questão da energia da questão ambiental, primeiro porque a exploração de recursos naturais e matérias-primas para a sua obtenção degrada e põem em causa o meio ambiente, segundo porque o processo de transformação e muitas vezes de consumo final da própria, não é um processo limpo e verde. Basta pensar no caso do petróleo, cujo processo não só é um grande consumidor de energia como é altamente prejudicial para o ambiente.

A conferência de Estocolmo, realizada em Junho de 1972, foi o primeiro grande evento sobre meio ambiente realizado no mundo. Foi a primeira vez que o homem abandonou a visão de que o ambiente e os seus recursos naturais eram uma fonte inesgotável. [12]

As Nações Unidas através da sua comissão mundial de ambiente e desenvolvimento publicaram em 1987 um documento sobre a sustentabilidade do desenvolvimento da humanidade e os seus impactos ambientais. Esse documento intitula-se em português “ O nosso futuro comum”, e é também muitas vezes referido com o Relatório Brundtland. [13]

Mais iniciativas se têm multiplicado ao longo dos anos. Em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, representantes de cento e oito países do mundo reuniram-se para decidir que medidas tomar para conseguir diminuir a degradação ambiental e garantir a existência de outras gerações. [14]

Foi intenção, nesse encontro, introduzir a ideia do desenvolvimento sustentável, um modelo de crescimento económico menos consumista e mais adequado ao equilíbrio ecológico. O principal documento que foi produzido na reunião do Rio de Janeiro em 1992 foi o documento que ficou conhecido como a Agenda 21. É um documento que estabeleceu

a importância de cada país se comprometer a refletir, global e localmente, sobre a forma de crescimento e desenvolvimento. Afetando não só os governos, empresas, organizações não-governamentais mas chamando também todos os sectores da sociedade que poderiam cooperar no estudo de soluções para os problemas socio ambientais.

A Agenda 21 constitui um poderoso instrumento de reconversão da sociedade industrial rumo a um novo paradigma, que exige a reinterpretação do conceito de progresso, contemplando maior harmonia e equilíbrio holístico entre o todo e as partes, promovendo a qualidade, não apenas a quantidade do crescimento. O conceito de eficiência no consumo energético e a ideia de desenvolvimento sustentável andam de mão dada, são indissociáveis. Sustentabilidade define-se como a capacidade de responder as necessidades atuais de crescimento e consumo, sem no entanto pôr em causa a capacidade de fazer o mesmo das gerações futuras. [15]

Volvida uma década do encontro do Rio de Janeiro, dá-se outra reunião com algum significado histórico, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável ou Rio+10 consistindo num fórum de discussão das Nações Unidas, realizado entre os dias 26 de agosto e 4 de Setembro de 2002, em Joanesburgo, África do Sul. Esta reunião teve como objetivo principal discutir soluções já propostas na Agenda 21, para que pudessem ser aplicadas de forma coerente não só pelo governo, mas também pelos cidadãos, realizando uma agenda 21 local, e implementando o que fora discutido em 1992. Foi também nesta data que o chamado *dossier* da energia teve a sua génese. [16]

Mais tarde, 20 anos depois da conferência do Rio de Janeiro, tem lugar a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, conhecida também como Rio+20. Foi uma conferência realizada entre os dias 13 e 22 de Junho de 2012 na cidade brasileira do Rio de Janeiro, cujo objetivo era discutir a renovação do compromisso político com o desenvolvimento sustentável. Estas reuniões que tem acontecido têm sido ultimamente apelidadas de COP seguida do número da edição. A última teve lugar em 2013 em

Varsóvia, Polónia, a COP 19. A próxima reunião, a COP 20 terá lugar no Peru em Dezembro de 2014.

Portugal foi assinante de alguns dos documentos e participante nas conferências que se realizaram e, por isso, é abrangido pelos regulamentos e metas que delas saíram. Paralelamente foram desenvolvidas e definidas algumas leis e regulamentos no país para alcançar os compromissos estabelecidos. Em 1982 surgiu a primeira legislação que regulava os consumos de energia na indústria. O Decreto-Lei 58/82 de 26 de Novembro era, então, a primeira tentativa para regular os consumos energéticos. O Regulamento de gestão dos consumos de energia esteve em vigor durante 26 anos. Só em 2008 foi revogado e substituído pelo Decreto-Lei 71/2008, de 15 de Abril. Este último é o sistema de gestão dos consumos intensivos de energia, vulgarmente apelidado de SGCIE, que vem no âmbito da estratégia nacional para a energia. Este Sistema aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia com consumos superiores a 500 tep/ano.

Tonelada equivalente de petróleo ou tep é uma unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru. Esta unidade é uma forma de simplificar e uniformizar a unidade de medida da energia (ver Tabela 2), onde um tep equivale a cerca de quarenta e dois gigas joules.

Tabela 2 - Exemplos de alguns fatores de conversão

Tipo de Energia	Fator de conversão
"Thick" Fuelóleo	0,969 tep/t
Fuelóleo	0,984 tep/t
Energia Elétrica (1kWh)	215×10^{-6} tep
Gás Natural	1,077 tep/t
Resíduos de Cortiça	PCI= 0,270 tep/t
Resíduos de madeira	PCI= 0,401 tep/t

Na União Europeia, existe uma legislação energética e ambiental muito completa e restritiva. A diretiva de eficiência energética que entrou em vigor a 4 de Dezembro de 2012 é o mais recente exemplo. Esta diretiva veio generalizar e uniformizar a forma como se medem os consumos e as poupanças energéticas. Estabelece também metas e objetivos a alcançar por parte dos 28 países da UE. O objetivo principal é reduzir os consumos de energia em 20% até 2020, estabelecendo princípios e comportamentos que levem a mais reduções no futuro. Todos os países ficam obrigados a usar e consumir a sua energia de forma mais racional e eficiente em todas as fases da cadeia energética, desde a transformação da energia, distribuição até ao seu consumo final. [17]

Esta uniformização estabelece indicativos de eficiência energética, que possam ser comparáveis entre países membros, possibilitando definir metas e objetivos de redução dos consumos atuais, e de poupança.

A União Europeia impõe com esta diretiva os objetivos de redução, bem como as medidas a levar a cabo para os atingir, estejam definidos e publicados no respetivo PNAEE – Plano Nacional de Ação em Eficiência Energética. É no seguimento deste Plano que surge o regulamento SGCIE, publicado na Resolução no Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 28 de Fevereiro de 2013, que aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020 (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020). Convém ainda lembrar outra iniciativa que já está em marcha, o ECO.AP (Programa de Eficiência Energética na Administração Pública). O Programa ECO.AP visa promover a eficiência energética na Administração Pública e tem como objetivo permitir ao Estado a redução da fatura energética em 30% até 2020, nos respetivos serviços e organismos públicos.

O principal objetivo do PNAEE 2016 passa, em suma, por projetar novas ações e metas para 2016, em articulação com o referido PNAER 2020, integrando as preocupações

relativas à redução de energia primária para o horizonte de 2020 constantes da Nova Diretiva Eficiência Energética, com base em três eixos de atuação:

- Ação, através da adequação das medidas ao atual contexto económico- financeiro, tendo em vista a redução do custo global do programa nacional de eficiência energética;
- Monitorização, através da revisão dos métodos de monitorização de resultados e criação de uma visão macro do impacto do programa nacional de eficiência energética;
- Governação, através da redefinição do modelo de governação do PNAEE.

A estimativa é que este programa gere uma poupança, até 2016, na ordem dos 8,2%, cerca de 1 501 000 tep. [3]

Esta poupança está em linha de conta com a meta definida pela diretiva da União Europeia de 9% de poupança de energia até 2016. Os valores são calculados com base na média de consumo energético no período de 2001 a 2005.

O atual plano de Ação, o PNAEE, prevê a contribuição de vários sectores (ver Figura 3), a saber:

- Transportes
- Residencial e Serviços
- Indústria
- Estado
- Comportamentos e Agricultura

Estas áreas contemplam um total de 10 programas com um leque de medidas de melhoria da eficiência energética, orientadas para a procura energética e que, de uma forma quantificável e monitorizável, visam alcançar os objetivos propostos.

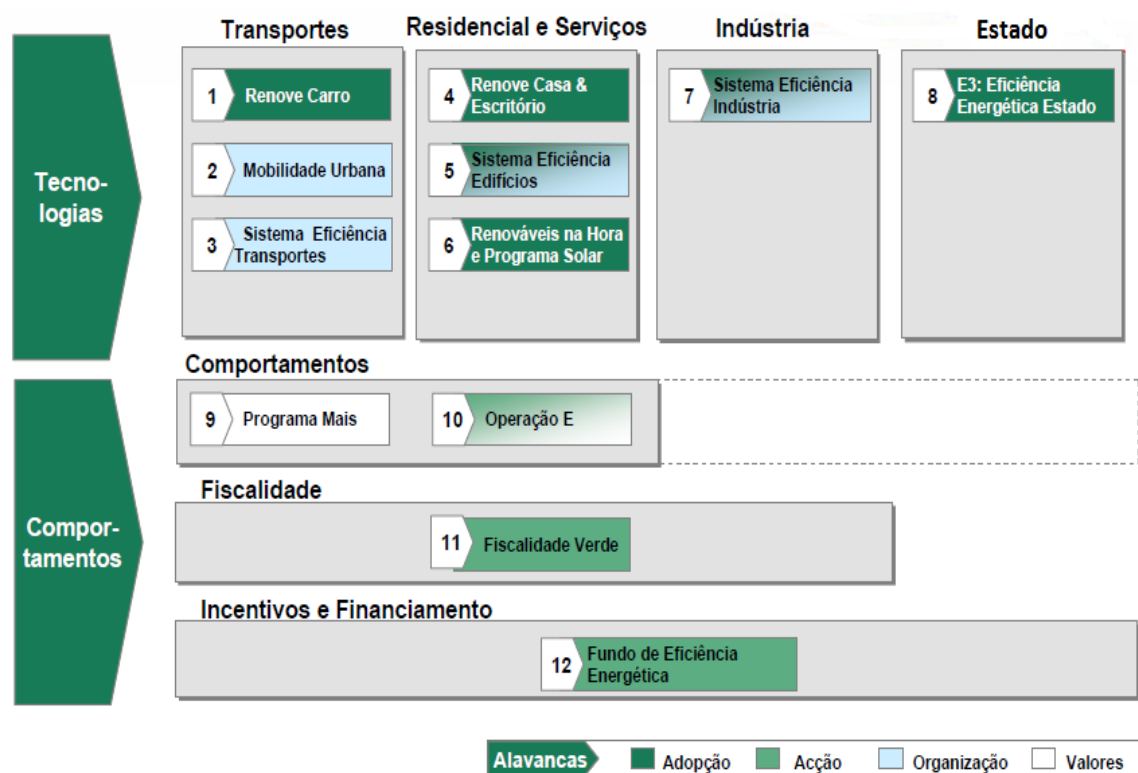


Figura 3 - Esquema dos principais programas do PNAEE [3]

Este programa, para além de uma redução do consumo de energia prevê também uma redução da fatura energética do país. A redução da fatura pode ser alcançada por duas vias, pela redução do consumo, ou pela obtenção e produção de mais energia, (evitando assim a sua compra). É aí que entra o PNAER, que prevê uma quota de eletricidade de base renovável superior a 60%, tal como a meta global a alcançar, que deverá situar-se nos 35%.

Estas novas linhas gerais têm como base a premissa de que Portugal deve ser um país energeticamente eficiente e independente, transformando-o num país competitivo. O PNAER estabelece, para tal, as trajetórias de introdução de fontes de energia renováveis em três grandes sectores:

- Aquecimento e arrefecimento

- Eletricidade
- Transporte

O estabelecimento deste horizonte temporal de 2020 para efeitos de acompanhamento e monitorização do impacto estimado no consumo de energia primária permite perspetivar, antecipadamente, o cumprimento das novas metas assumidas pela UE, a de redução de 20% dos consumos de energia primária até 2020 já referidos anteriormente. Também se admite atingir o objetivo geral, acima referido, de redução no consumo de energia primária de 25% e o objetivo específico para a Administração Pública de redução de 30%, inscrito no ECO.AP.

1.3. Objetivos

O objetivo principal é indicar algumas soluções que possam ser aplicadas para melhorar a climatização do edifício BIORAMA do Parque Biológico de Vila Nova de Gaia (PBG). A seguir, indica-se um conjunto de pontos, ordenados cronologicamente, que podem estar incluídos neste trabalho:

- Introdução
 - Introdução ao conceito de eficiência energética e sua importância
 - Dar a conhecer o PBG e o edifício em estudo (Biorama)
 - Identificar a sua localização, orientação solar e as suas características físicas e químicas
- Explicar o problema da Climatização do Edifício
- Analisar os registos históricos dos parâmetros físicos no Edifício comparando e correlacionando com as temperaturas do ar medidas nos 5 módulos do Biorama assim como com as temperaturas do ar ambiente exterior
- Efetuar medições de temperatura em diversos pontos das estruturas e compará-las com as medições de temperatura do ar interior existente

- Efetuar balanço de massa e energia ao Edifício
- Propostas de Melhoria na Climatização do edifício e sua fundamentação
- Rentabilidade Financeira
- Conclusão

1.4. Organização do relatório

No Capítulo 1 é apresentado uma visão geral da obtenção e utilização da energia em Portugal. Também neste primeiro capítulo é realizado um pequeno enquadramento histórico, que serve de contextualização ao resto do trabalho. No capítulo seguinte, é apresentada uma análise mais pormenorizada às características do problema. São apresentados os cálculos, medições e simulações desenvolvidos durante o trabalho. No último capítulo são reunidas e analisadas as principais conclusões e soluções alcançadas.

2. Caracterização Física e Energética do Edifício Biorama

2.1. O Biorama

O Parque Biológico de Vila Nova de Gaia (PBG) abriu as portas em 1983, com a dimensão de dois hectares. No final da década de noventa, entre 97 e 98 sofreu alterações de expansão e melhoria. No final das obras o PBG tinha sido expandido para cerca de 35 hectares, e passou a contar com um auditório, salas de exposições, bar e explanada. [5]

A construção do PBG surgiu com a necessidade de colmatar a falha que era originada na inexistência de um equipamento, onde escolas e outras instituições pudessem usar para aulas de campo e visitas de estudo. No norte do país não existia nenhuma oferta nesta área. Muitas ideias surgiram sobre qual deveria ser o tipo de parque a ser construído. Em 1982

surgiu a possibilidade de arrancar o projeto numa quinta nos arredores de Vila Nova de Gaia, que recentemente tinha sido adquirida pela Câmara Municipal de Gaia. Devido à falta de uma ideia definida sobre o tipo de parque a construir, decidiu-se com o apoio de algumas instituições, entre as quais a Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) e do Comité dos Desafios da Sociedade Moderna, efetuar visitas a diversos parques com a mesma finalidade. Em 2000, o PBG deixa de ser um departamento da Câmara Municipal de Gaia, e passa a ser uma entidade autónoma. Por fim, em 2010 por deliberação da mesma Câmara Municipal, a empresa águas de Gaia e o Parque biológico de Gaia fundem-se, e tornam-se uma única entidade.

O PBG oferece uma gama variada de atividades que vão desde exposições, oportunidades de observação de fauna e flora, até simples passeios em contacto com a natureza. Em 2009 houve a adição de outra atracção, a do Biorama que abriu as suas portas no dia mundial do ambiente, a 5 de Junho de 2009. O projeto começou por ter como objetivo mostrar o impacto atual das alterações climáticas na fauna e flora terrestre, mas depressa evoluiu para um complexo de cinco pavilhões que reconstituem diversos biomas existentes no planeta Terra (a savana, as dunas, o deserto, a floresta tropical e um ambiente do período mesozoico). Todos estes espaços possuem uma mistura interessante entre fauna e flora real com animações e imitações.

2.2. Identificação da localização e das características físicas do Biorama

O Biorama é constituído por um conjunto de cinco edifícios, ligados entre si por um corredor. Esta estrutura encontra-se situada numa elevação de terreno no topo norte do parque a uma cota de 82 m acima do nível do mar (ver Figura 4).



Figura 4 - Vista aérea da localização do Biorama no PBG [fonte: maps.google.pt 2014]

Nenhum dos cinco edifícios do Biorama tem as mesmas dimensões. No entanto são feitos dos mesmos materiais e foram construídos da mesma maneira. Os edifícios possuem uma estrutura metálica em IPN 200 e IPN 180 ligados a um conjunto de madres C120, que por sua vez suporta chapa em aço e em policarbonato (ver Figura 5).

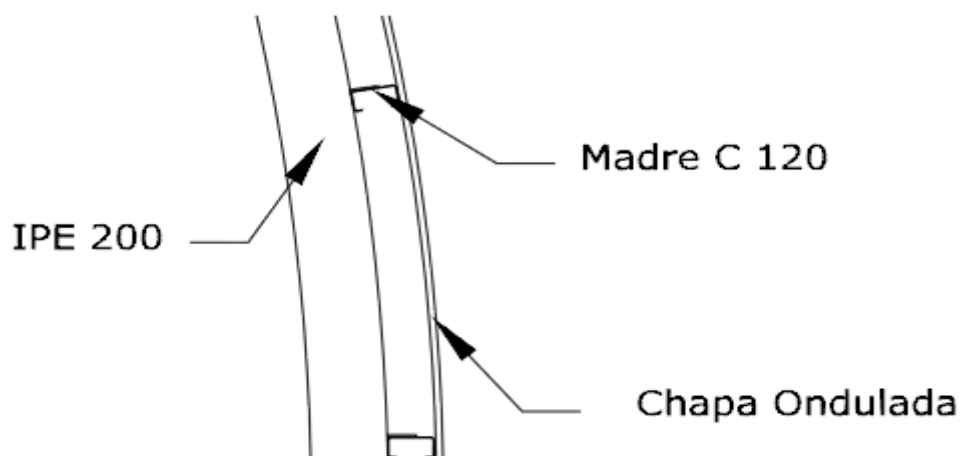


Figura 5 - Pormenor dos materiais de construção dos edifícios

As dimensões dos edifícios variam consideravelmente em comprimento e largura, mas não em altura, todos tem a mesma altura. São essencialmente estruturas circulares em chapa e polycarbonato (ver Figura 6).

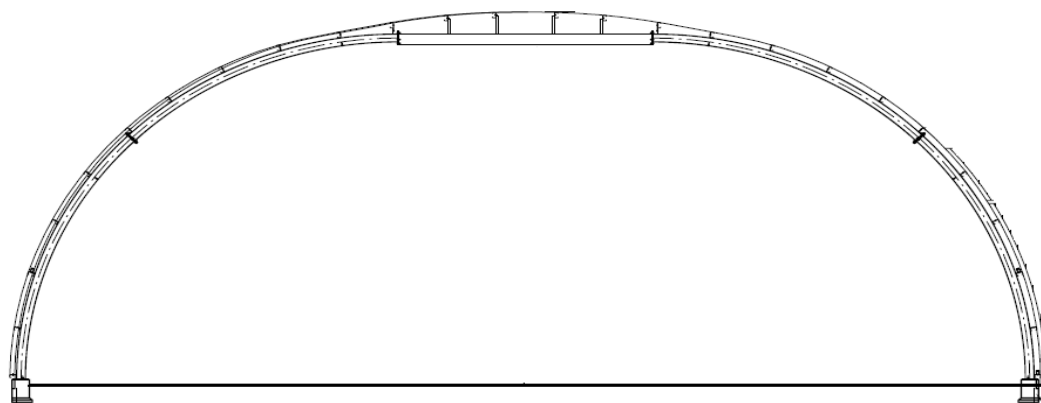


Figura 6 - Corte Transversal da estrutura dos edifícios

Devido à extraordinária resistência aos esforços externos, não só cargas uniformemente distribuídas, mas também às cargas assimétricas dos ventos, os arcos metálicos apresentam enormes vantagens económicas e construtivas. As estruturas arqueadas metálicas podem ainda ser desmembradas em partes e subpartes, uma vantagem no seu transporte e montagem.

Os edifícios são diferenciados em função do bioma que possuem, e são identificados pela atribuição de uma letra entre A e F, respetivamente (ver Figura 7).

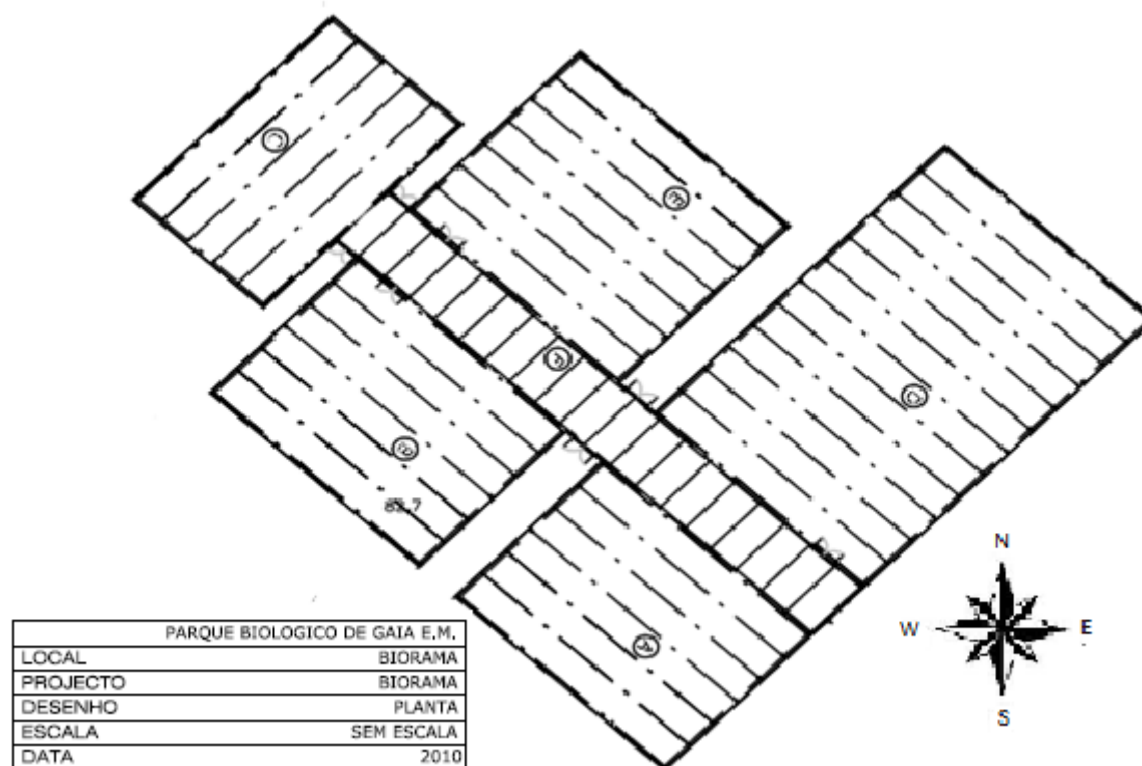


Figura 7 - Planta do conjunto de edifícios do Biorama

De seguida, na Tabela 3, apresenta-se uma lista onde se relaciona a letra de identificação do edifício, com o bioma que ele alberga, bem como as dimensões de comprimento e largura. A altura dos edifícios é idêntica e igual a 8,13 m.

Tabela 3 - Medidas de comprimento e altura de cada edifício do Biorama

Edifício	Bioma	Comprimento (m)	Largura (m)
A	Ambiente Mesozoico	20,183	20,323
B	Litoral Dunar	14,983	20,323
C	Deserto	20,123	12,620
D	Floresta Tropical	29,841	20,323
E	Savana	17,426	20,323
F	Corredor de Ligação	46,146	5,200

O Biorama é pintado de cor verde e apenas possui uma construção vizinha do lado Sul. A entrada do público situa-se na vertente sul (ver Figura 8).



Figura 8 - Foto de perfil do Biorama, entrada sul [fonte: maps.google.pt 2014]

Esta construção a sul é particularmente relevante para o estudo térmico porque funciona como um acumulador de calor. Trata-se duma zona vedada, com paredes e chão em cimento, pois trata-se da zona de quarentena do parque. Sempre que um novo animal chega ao parque ele permanece nesta zona isolada até se ter a certeza que não está doente. Esta absorve muito calor durante a exposição solar e transfere-o aos edifícios A e D.

Em relação ao exterior, é possível verificar que alguns edifícios possuem uma vegetação jovem na vertente Sudoeste (conforme se pode ver na Figura 9), que fornece algum sombreamento.



Figura 9 - Foto de perfil sudoeste do Biorama [fonte: maps.google.pt 2014]

À exceção do bioma do Deserto e do Corredor de ligação, todos os outros espaços possuem pequenos lagos. Todos os espaços possuem também iluminação natural e só no corredor de ligação existem luminárias. Existe um medidor de temperatura por cima de cada porta de acesso e não existe qualquer tipo de climatização mecânica.

2.3. Climatização do Edifício

Por razões financeiras foi feito um estudo para implementar um sistema de climatização natural para o Biorama. Foram contactadas inúmeras empresas de serviço em climatização, mas poucas mostraram interesse em apresentar uma proposta.

A solução que foi encontrada para controlar a temperatura no interior dos biomas foi um sistema de aberturas com grelhas laterais (ver Figura 10), capazes de permitir a entrada de uma corrente de convecção natural no interior dos edifícios.



Figura 10 - Foto de uma das aberturas com grelhas [fonte: maps.google.pt 2014]

A abertura das grelhas é controlada para regular o fluxo de ar que entra no edifício e para evitar que a água entre nos dias de chuva. Foram colocadas umas redes nestas aberturas para evitar a fuga das aves de cada bioma. O ar entra e ao aquecer desloca-se no sentido ascendente (seta azul na Figura 11), saindo quente (seta laranja da Figura 11): As duas aberturas situadas no teto dos edifícios são, por isso, extratores de ar quente.

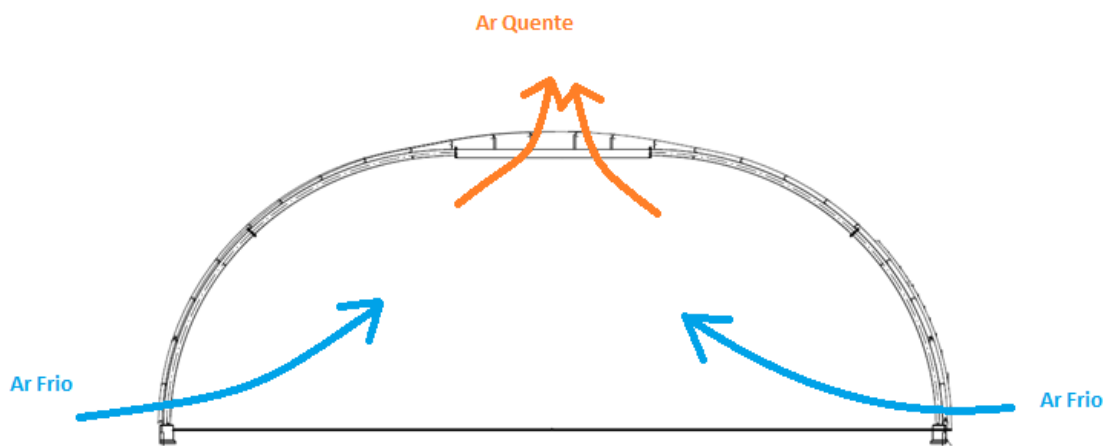


Figura 11 - Esquema de funcionamento do sistema de convecção natural

Para efetuar o controlo da humidade, foram instalados em todos os edifícios, à exceção do bioma do deserto, pulverizadores simples, semelhantes aos que são normalmente utilizados nas estufas de agricultura.

No entanto este sistema de controlo da humidade e temperatura tem vários inconvenientes. Nas estações quentes tem o problema do sobreaquecimento, ou seja, se o ar está quente no exterior não há forma de evitar os sobreaquecimentos dos biomas. Por exemplo no ano de 2010, efetuaram-se uma série de medições das temperaturas e humidades de manhã e à tarde em dois dias distintos por mês. Apresentam-se em seguida (ver Tabela 4), dois desses dias sendo que os restantes estão no Anexo A.

Tabela 4 - Quadro das medições as temperaturas e humidades do Biorama.

		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		10h	17h15	10h	17h15	10h	17h15	10h	17h15	10h	17h15
5-jan-10	Humidade	96%	99%	96%	95%	77%	92%	91%	95%		
		74%	65%			79%	69%	72%	65%	97%	68%
	Temperatura (°C)	9	6	9	6	13	6	9	6	11	12,6
		15	16			16	15	17	14	10,5	14
27-jul-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		13h30	15h30	13h30	15h30	13h30	15h30	13h30	15h30	13h30	15h30
	Humidade	40%	21%	25%	22%	28%	21%	27%	17%		
		62%				50%		5%			
	Temperatura (°C)	39	43	45	44	44	42	43	45	47	44
		41				40		38			

Esta Tabela identifica temperaturas que estão em muito fora das temperaturas características dos biomas.

Para uma melhor compreensão comparou-se as temperaturas e humidades pretendidas para cada edifício com os parâmetros medidos pelos funcionários durante o ano de 2010.

a) Floresta tropical

No início do projeto, para este bioma, foram definidos intervalos de temperatura e humidade. Estes valores têm em conta os valores de conforto para os visitantes e os

adequados às espécies que habitam estes biomas. Neste caso os valores definidos para a temperatura e humidade foram, respetivamente, entre 26 e 32°C e 80 e 90%

Tabela 5 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para o Bioma Floresta tropical

Floresta	Medições							
	Inverno		Primavera		Verão		Outono	
Projetado	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
80 - 90%	80%	0%	63%	-17%	62%	-18%	77%	-3%
26 – 32 °C	15,3	-10,7	26,6	0	31,8	0	19,1	-6,9

Na Tabela 5 os valores a vermelho indicam um valor fora do intervalo de valores pretendido. Por oposição, os valores a verde representam valores dentro do intervalo definido. Pode-se verificar que os valores das temperaturas nas estações quentes estão dentro do intervalo definido, ainda que nos respetivos limites. As temperaturas registadas nas estações frias estão cerca de 30 a 40% abaixo do valor mínimo definido. Em relação à humidade, os valores estão dentro do intervalo nas estações frias, enquanto nas estações quentes os valores estão, cerca de 20% abaixo do valor mínimo.

Afim de todos os valores se encontrarem dentro dos parâmetros definidos, é necessário fazer subir a temperatura nas estações frias e a humidade nas estações quentes.

b) Mesozoico

O ambiente do Mesozoico ocorreu entre 251 e 65,5 milhões de anos atrás. Esta era é especialmente conhecida pelo aparecimento, domínio e desaparecimento dos dinossauros. Pensa-se, portanto, que o clima deste período seria seco e quente [6]. Os valores definidos e a respetiva comparação com as medições efetuadas são apresentados de seguida na Tabela 6.

Tabela 6 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para o ambiente

Mesozoico

Mesozoico	Medições							
	Inverno		Primavera		Verão		Outono	
Projetado	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
< 50%	88%	38%	66%	-16%	51%	-1%	79%	-29%
26 - 36 °C	10,3	-15,7	25	-1	35,8	0	15,5	-10,5

Como era de esperar, os valores de humidade e temperatura não estão dentro do intervalo de valores definido. Na primavera a temperatura está muito próxima dos valores definidos, mas a humidade encontra-se cerca de 15% acima do valor pretendido. Durante quase todo o ano, a humidade está 15 a 40% acima do valor estipulado. Nas estações frias os valores da temperatura não fazem jus ao bioma representado, que era quente e seco. Os valores da temperatura terão que ser 30 a 40 % mais elevados. De uma forma geral é necessário fazer baixar a humidade neste bioma, e elevar a temperatura no inverno e outono.

c) Dunas

No que diz respeito a este bioma que representa um ambiente litoral, pode afirmar-se que é aquele que necessita de menores alterações nos seus valores de humidade e temperatura. O quadro da comparação e respetiva análise encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para o ambiente da

Dunas

Dunas	Medições							
	Inverno		Primavera		Verão		Outono	
Projetado	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
60 - 70%	80%	10%	63%	0%	54%	-6%	76%	6%
15 - 32°C	14,1	-0,9	24,4	0	32	0	15,3	0

Aqui será apenas necessário fazer pequenas correções ao nível da humidade relativa.

d) Savana

Neste ambiente, a savana, os valores médios das temperaturas estão todos dentro do intervalo pretendido. Os valores da humidade estão algo afastados e requerem algumas medidas de correção (ver Tabela 8).

Tabela 8 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para a Savana

Savana	Medições							
	Inverno		Primavera		Verão		Outono	
Projetado	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
40%	79%	39%	60%	20%	49%	9%	77%	37%
0 - 37°C	13,1	0	25,2	0	32	0	16,9	0

Nas estações mais frias, a humidade apresenta valores consideravelmente acima do pretendido, quase duas vezes mais para ser exato. No verão e primavera os valores encontram-se a cerca de 20 a 50% superiores ao definido. Como tal, torna-se apenas necessário diminuir a humidade, nas estações frias.

e) Deserto

Para este bioma, não existiram valores medidos para a humidade relativa. Ainda assim, os valores apresentados nos outros biomas. Savana e Dunas permitem concluir que a humidade seja superior ao pretendido. Em relação às temperaturas a Tabela 9 mostra que este parâmetro não é uma preocupação.

Tabela 9 - Quadro de comparação dos valores registados com os projetados para o Deserto

Deserto	Medições							
	Inverno		Primavera		Verão		Outono	
Projetado	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
0 - 37 °C	14,7	0	26,5	0	36,9	0	21,8	0

2.4. Balanço Energético do Edifício

No mês de Junho de 2014 foram realizadas algumas medições de temperatura e humidade, a fim de confirmar valores anteriores. Nestas medições incluíram-se algumas temperaturas de superfície do próprio edifício, importantes para efetuar uma estimativa do balanço térmico.

Para realizar o balanço térmico seguiu-se a abordagem que está regulamentada no RCCTE. Entre os dois métodos optou-se pelo método detalhado em detrimento do simplificado. Para efetuar o cálculo dos ganhos térmicos fez-se a separação entre inverno e verão e tratou-se destas duas estações do ano de forma separada. É preciso notar que no inverno os ganhos solares são interessantes e até desejáveis, mas no verão passa-se o contrário.

2.4.1. Ganhos Externos

Inverno

A expressão que permite o cálculo dos ganhos solares no inverno é a seguinte:

$$Q_s = G_{sul} \sum_j \left[X_j \sum_n A_{snj} \right] \times M \quad (1)$$

Em que:

G_{sul} – valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul, de área unitária, durante a estação de aquecimento [kWh/m².meses]

X_j – fator de orientação para as diferentes exposições

A_{snj} – área efetiva coletora da radiação solar da superfície n que tem a orientação j [m²]

j – índice que corresponde a cada uma das orientações

n – índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j

M – duração da estação de aquecimento, [meses/ano]

Q_s – Ganhos solares no inverno [kWh/ano]

Para a determinação da orientação dos edifícios e das suas respetivas fachadas torna-se necessário efetuar algumas aproximações, já que os edifícios em causa são diferentes dos edifícios normalmente estudados e abordados no regulamento. Os edifícios não possuem envidraçados no sentido normal, mas boa parte das laterais do edifício são feitas de policarbonato com reduzida opacidade. Estas zonas serão aproximadas e tratadas como envidraçados. Pela sua localização já anteriormente evidenciada, a orientação dos edifícios foi considerada SE. Considerando que a orientação é a referida, o fator de orientação assume o valor de 0,84 (ver Tabela 10).

Tabela 10 -Fator de Orientação [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, N°67,4 de Abril de 2006, pág 2489]

	Octante N.	Octantes NE. e NW.	Octantes E. e W.	Octantes SE. e SW.	Octante S.	Horizontal
X	0,27	0,33	0,56	0,84	1	0,89

Para o cálculo da área efetiva utilizou-se a seguinte expressão:

$$A_S = A \times F_S \times F_g \times F_W \times g_t \quad (2)$$

Em que :

A - área total do vão envidraçado, isto é, área da janela, incluindo vidro e caixilho [m²];

F_S - fator de obstrução;

F_g - fração envidraçada;

F_W – fator de correção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar;

g_t - fator solar do vão envidraçado para radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de proteção solar

A_S – Área efetiva [m²]

Na determinação do fator de obstrução a expressão a utilizar que consta no regulamento é:

$$F_S = F_h \times F_0 \times F_f \quad (3)$$

Em que:

F_S – Fator de obstrução

F_h – Fator de sombreamento do horizonte

$F_0 \times F_f$ – Fator relativo a sombreamentos por palas e toldes

Para a determinação do sombreamento do horizonte é importante perceber se na vizinhança dos edifícios em causa existe alguma construção que seja mais alta do que os edifícios. Constatou-se que não existia alguma construção com essas características, logo no sombreamento do horizonte o ângulo alfa assume o valor zero (ver Tabela 11).

Tabela 11 - Valores do fator de sombreamento horizontal [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, N°67,4 de Abril de 2006, pág 2499]

Ângulo do horizonte	Horizontal	N.	NE/NW.	E./W.	SE./SW.	S.
Latitude 39° (continente e Açores)						
0°	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45

Nenhum dos edifícios em estudo tem algum sistema de sombreamento vertical, quer seja por palas ou toldes, logo a multiplicação de F_0 por F_f é igual a 0,9 (ver Expressão 3).

$$F_S = 1 \times 0,9 = 0,9 \quad (3)$$

Seguindo a ordem de cálculo, o passo seguinte é determinar a fração envidraçada, F_g . Normalmente os envidraçados dos edifícios possuem caixilharias de diversos tipos, o que não é o caso no edifício em estudo. Para este considerou-se a zona de policarbonato próximo de um envidraçado e assumiu-se que seria próximo de uma cortina fechada, situação contemplada em regulamento. A fração envidraçada, F_g , assume assim o valor de 0,9. Para o fator F_w , foi tomada a opção deste assumir o pior valor possível, entendeu-se que nenhuma aproximação razoável deveria ser feita, então o valor de F_w é 0,1.

Na determinação do fator solar, o regulamento já contempla os casos de envidraçados em policarbonato. Como a espessura das chapas não excede os 6 mm, o fator solar assume o valor de 0,85. (ver Tabela 12).

Tabela 12 - Fator solar para envidraçados em plástico [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, N°67,4 de Abril de 2006, pág 2498] [19]

Tipo	Factor solar
Policarbonato simples:	
Incolor cristalino (transparente):	
De 4 mm a 6 mm	0,85
De 8 mm a 10 mm	0,80
12 mm	0,78

Terminado o cálculo dos fatores, chega-se ao valor da área efetiva recorrendo à Expressão (2). Em seguida na Tabela 13 apresentam-se os resultados para cada edifício em causa.

Tabela 13 - Áreas efetivas dos vários biomas

	A (m ²)	F _s	F _g	F _w	gt	Área Efetiva (m ²)
Floresta tropical	317,38	0,9	0,9	0,1	0,85	21,85
Mesozoico	214,66					14,78
Dunas	159,35					10,97
Savana	185,34					12,76
Deserto	132,90					9,15

No RCCTE, os valores de energia solar média incidente numa superfície encontram-se tabelados, tal como a duração da estação de aquecimento.

Tabela 14 - G_{Sul} [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág 2484] [19]

Zona de Inverno	Energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento G_{Sul} (kWh/m ² . mês)
I_1 :	
Continente	108
Açores	70
Madeira	100

O valor da duração da estação de aquecimento pode ser calculado com dados da Tabela 15.

Tabela 15 - Duração da estação de aquecimento [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág 2481] [19]

Concelho	Zona climática de Inverno	Número de graus- dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona climática de Verão	Temperatura externa do projecto (°C)	Amplitude térmica (°C)
Vila Nova de Famalicão	I_2	1 690	7	V_1	31	12
Vila Nova de Foz Côa	I_3	2 210	7,7	V_2	33	15
Vila Nova de Gaia	I_2	1 640	6,7	V_1	30	10
Vila Nova de Ourém	I_2	1 750	6	V_2	33	14

Determinadas todas as incógnitas, calculou-se o valor dos ganhos externos dos edifícios que se apresentam na Tabela 16.

Tabela 16 - Ganhos externos de cada bioma no inverno

Bioma	Área Efetiva (m ²)	G_{Sul} (kWh/m ² . meses)	Duração da estação de aquecimento (meses/ano)	Ganhos Externos (kWh/ano)
Floresta tropical	21,85	108	6,7	15811
Mesozoico	14,78			10694
Dunas	10,97			7939
Savana	12,76			9233
Deserto	9,15			6621

Verão

Para a determinação dos ganhos externos no verão a metodologia adotada é semelhante à de inverno. A expressão 4 permite determinar os ganhos externos que são de todo inconvenientes.

$$Q_s = \sum_j \left[I_{rj} \sum_n A_{snj} \right] \quad (4)$$

Em que:

I_{rj} – energia solar incidente nos envidraçados por orientação j [kWh/m²]

A_{snj} – área efetiva coletora da radiação solar da superfície n que tem a orientação j [m²]

Q_s – Ganhos solares no inverno [kWh]

Para a determinação da energia solar incidente nos envidraçados, consultou-se a Tabela 17 que consta no regulamento, tendo em linha de conta que a zona climática de verão é V2 e a sua fachada encontra-se orientada a SE.

Tabela 17 - Valores médios da temperatura do ar e da intensidade da radiação solar nos meses de arrefecimento [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, N°67,4 de Abril de 2006, pág: 2484] [19]

Zona	θ_{atm}	N.	NE.	E.	SE.	S.	SW.	W.	NW.	Horiz.
V ₁ N.	19	200	300	420	430	380	430	420	300	730
V ₁ S.	21	200	310	420	430	380	440	430	320	760
V ₂ N.	19	200	320	450	470	420	470	450	320	790
V ₂ S.	23	200	340	470	460	380	460	470	340	820
V ₃ N.	22	200	320	450	460	400	460	450	320	800
V ₃ S.	23	210	330	460	460	400	470	460	330	820
Açores	21	190	270	360	370	340	370	360	270	640
Madeira	21	200	300	380	380	320	370	380	300	700

Para a determinação da área efetiva recorreu-se novamente à expressão (2). O fator de obstrução apresenta o mesmo valor de inverno, já que as condições são as mesmas, F_g também utiliza o mesmo valor 0,9. Em relação a F_w , optou-se novamente pelo pior valor possível, 0,1. Por último em relação ao fator solar g_t , foi necessário ter em linha de conta que em todos os verões é colocada uma lona verde com cerca de 70% de opacidade, na metade virada a sudeste dos edifícios, cobrindo assim metade do edifício. Por esta razão e efetuado um enquadramento com os casos mencionados no regulamento, este fator assumiu o valor de 0,6. O valor da área efetiva é apresentado na Tabela 18 para cada edifício em estudo.

Tabela 18 - Áreas efetivas dos vários biomas

Bioma	A (m ²)	F _s	F _g	F _w	g _t	Área Efetiva (m ²)
Floresta tropical	317,38	0,9	0,9	0,1	0,6	15,42
Mesozoico	214,66					10,43
Dunas	159,35					7,74
Savana	185,34					9,01
Deserto	132,90					6,46

Os ganhos externos durante a estação de arrefecimento podem, então, ser determinados com recurso à expressão (4) e são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Ganhos Externos do Verão

Bioma	Área Efetiva (m ²)	Energia solar incidente nos envidraçados (kWh/m ²)	Ganhos Externos (kWh)
Floresta tropical	15,42	460	7093
Mesozoico	10,43		4798
Dunas	7,74		3560
Savana	9,01		4144
Deserto	6,46		2971

Em resumo, os ganhos externos de cada edifício são importantes no inverno, complementam o sistema de climatização e são bem-vindos, já no verão torna-se necessário eliminá-los.

2.4.2. Carga térmica

Tal como no cálculo dos ganhos externos, no cálculo das cargas térmicas é necessário separar o período de aquecimento do de arrefecimento.

Inverno

As cargas térmicas de aquecimento correspondem a perdas no edifício. Neste cálculo não é tido em conta qualquer ganho, interno ou externo. A fórmula que permite o cálculo é a Expressão (5) seguinte:

$$CT_{Inverno} = Q_{Envolvente\ total} + Q_{Ventilação} \quad (5)$$

Em que:

$CT_{inverno}$ – Carga térmica de aquecimento [W]

$Q_{Envolvente\ total}$ – Perda térmica pela envolvente [W]

$Q_{Ventilação}$ – Perda térmica devido a ventilação [W]

A perda de calor pela envolvente é determinada pela adição de três perdas: pela envolvente exterior, pelas pontes térmicas lineares e finalmente pelas pontes térmicas planas. As equações encontram-se enunciadas em seguida, (6), (7) e (8):

$$Q_{\text{Envolvente exterior}} = \sum A \times U \quad (6)$$

$$Q_{PTP} = \sum A \times U \quad (7)$$

$$Q_{PTL} = \sum L \times U \quad (8)$$

Em que:

$Q_{\text{Envolvente Exterior}}$ – Perda térmica pela envolvente exterior [W]

Q_{PTP} – Perda pelas pontes térmicas planas [W]

Q_{PTL} – Perda pelas pontes térmicas lineares [W]

L – Comprimento linear [m]

U – Coeficiente de expansão térmica [$\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$] ou linear [$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$]

A – Área da superfície [m^2]

Antes de se iniciar qualquer cálculo é necessário determinar os coeficientes de transmissão térmica, U , para cada especificidade. Isso poderá ser determinado por consulta direta de tabelas que constam do regulamento RCCTE, bem como no documento ITE 50.

As pontes térmicas planas (PTP) são decorrentes de heterogeneidades inseridas em zonas correntes dos elementos da envolvente, tais como pilares, vigas e caixas de estore. Nos edifícios em causa isso não acontece, pois as estruturas metálicas são cobertas no exterior por chapas de metal e de Policarbonato. Neste caso as perdas pelas PTP são iguais a zero.

As pontes térmicas lineares são todas as ligações entre elementos construtivos que se encontram contemplados na seguinte lista:

- Ligação da fachada com pavimentos ou coberturas;

- Ligação entre duas paredes verticais
- Ligação da fachada com varanda;
- Ligação da fachada com caixa de estore;
- Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril

No caso em estudo só se aplicam as duas primeiras situações, as outras não estão presentes na arquitetura do edifício.

O coeficiente de transmissão térmica da ligação da fachada com o pavimento foi determinado sabendo que o coeficiente de transmissão térmica da chapa é aproximadamente $4,15 \text{ W/m}^2\text{°C}$. [20]

A cota Z que aparece na Tabela 20 é a diferença entre os níveis dos pavimentos exterior e interior, e neste caso é zero.

Tabela 20 - Valores do coeficiente térmico linear [fonte: Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006, pág: 2494] [19]

Z (m)	$\Psi \text{ (W/m.°C)}$ Coeficiente de transmissão térmica da parede $U \text{ (W/m}^2\text{.°C)}$					
	De 0,40 a 0,64	De 0,64 a 0,99	De 1 a 1,19	De 1,20 a 1,49	De 1,50 a 1,79	De 1,80 a 2
Menor que - 6	1,55	1,90	2,25	2,45	2,65	2,75
De - 6 a - 3,05	1,35	1,65	1,90	2,05	2,25	2,50
De - 3 a - 1,05	0,80	1,10	1,30	1,45	1,65	1,75
De - 1 a 0	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80

Para o caso das pontes térmicas lineares que existem na ligação das duas paredes verticais, o RCCTE indica o valor de coeficiente térmico linear de $0,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ para os casos omissos. O regulamento contempla os casos de paredes construídas em alvenaria, mas no Biorama as paredes são em chapa e, por essa razão, considerou-se o valor atrás mencionado

As perdas pela envolvente são determinadas a partir da expressão (9):

$$Q_{Envolvete\ exterior} = Q_{Parede} + Q_{Envidraçados} \quad (9)$$

Em que:

$Q_{Envolvete}$ – Perdas térmicas pela envolvente exterior [W]

Q_{Parede} – Perdas térmicas pela parede [W]

$Q_{Envidraçados}$ – Perdas térmicas pelos envidraçados [W]

O valor do coeficiente de transmissão térmica da chapa de policarbonato é de 3,5 W/m²°C [DIN 52612] e os resultados das equações (7) e (8) são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 -Resultados das perdas totais pela envolvente do Biorama

Bioma	Expressão (8) PTL				Área (m ²)		Expressão (9) Q envolvente exterior		
	L (m)	U Parede/ Pavimento (W/m ² °C)	U Paredes verticais (W/m ² °C)	Total (W/°C)	Chapa	Policar bonato	Chapa (W/m ² °C)	Policarbonato (W/m ² °C)	Total (W/°C)
Floresta tropical	100,3	0,3	0,5	80	634,8	317,4	4,2	3,5	3745
Mesozoico	81,0			65	429,3	214,7			2533
Dunas	70,6			57	318,7	159,4			1880
Savana	43,5			35	370,7	185,3			2187
Deserto	65,5			52	265,8	132,9			1568

Por análise dimensional, os resultados apresentados nas colunas dos totais ainda não estão em Watts, encontram-se em W/°C. É necessário multiplicar esses valores pela diferença de temperatura entre o interior e o exterior de cada Bioma.

A temperatura exterior considerada para o inverno foi igual a 4,5°C. [7] Os valores das temperaturas interiores foram baseados nos intervalos de temperaturas pretendidos para os diferentes biomas. Como essas temperaturas estava definido um intervalo de valores foi considerado para o inverno a temperatura inferior e, assim, calcularam-se os valores das perdas térmicas totais apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores das perdas térmicas da envolvente de cada bioma

	Q envolvente total (W/°C)	Temperatura Interior (°C)	Temperatura Exterior (°C)	Perda térmica total (W)
Floresta tropical	3825	26	4,5	82244
Mesozoico	2598	26		55852
Dunas	1937	15		20337
Savana	2222	15		33327
Deserto	1621	15		24309

As perdas térmicas devido à própria ventilação também foram tidas em linha de conta e determinadas segundo a expressão (10) e apresentadas na Tabela 23.

$$Q_{Ventilação} = Q_{Vent-Sensível} + Q_{Vent-Latente} = \dot{m} \times \Delta h \quad (10)$$

Em que:

$Q_{Ventilação}$ – Perdas térmicas por ventilação [W]

$Q_{Vent-Sensível}$ – Perdas térmicas devido a ventilação sensível [W]

$Q_{vent-Latente}$ – Perdas térmicas devido a ventilação latente [W]

\dot{m} - Caudal mássico do ar [kg/s]

Δh – Diferença de entalpia entre o ar exterior e interior [kJ/kg]

Como no caso em estudo existe humificação, a parcela correspondente ao calor latente não foi desprezada. A diferença de entalpias obteve-se pelo diagrama psicométrico utilizando as mesmas temperaturas que foram utilizadas no cálculo da perda térmica da

envolvente e as humidades relativas medidas em 2010. A humidade exterior para o inverno foi considerada na ordem dos 85%. [8]

Tabela 23 - Valores para as temperaturas e humidades interior e exterior de cada Bioma

					Entalpia (kJ/kg)	
Bioma	Temperatura Interior (°C)	Humidade % Interior	Temperatura Exterior (°C)	Humidade % Exterior	Interior	Exterior
Floresta tropical	26	77%	4,5	86%	68	16
Mesozoico	26	80%			70	
Dunas	15	76%			37	
Savana	15	77%			37	
Deserto	15	30%			37	

No subcapítulo 2.4.3 é apresentado o cálculo dos caudais mássicos de cada Bioma, (ver Tabela 24). Para proceder à verificação do caudal mássico calculado, foi necessário determinar o caudal mínimo de renovação do ar necessário para manter uma boa qualidade do ar. Consultou-se o RSECE e aproximou-se o tipo de edifício a um estúdio ou auditório, cuja imposição mínima é de 30 m³ por hora e por ocupante. Como o espaço não tem ocupação permanente foi estimado um número de ocupantes para efetuar os cálculos (a permanência no Bioma é estimada em 10 min). Tendo em conta estas atenuantes considerou-se o número de ocupantes iguais a 3 por hora e determinou-se o caudal mássico (ver expressão 11).

$$\dot{m} = \frac{(30 \times 3)}{3600} \times 1,204 = 0,0301 \text{ kg/s} \quad (11)$$

Os valores calculados mais à frente no subcapítulo 2.4.3 página 66 para o caudal mássico de ar de cada bioma (ver Tabela 24), são todos superiores ao valor mínimo imposto pelo regulamento RSECE. Com a expressão (10) determinaram-se as perdas térmicas que são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 - Resultado da perda térmica por ventilação de cada Bioma

Bioma	Caudal Mássico (kg/s)	Δh (kJ/kg)	Perda Térmica (W)
Floresta tropical	1,28	52	66432
Mesozoico	0,85	54	68987
Dunas	1,59	21	26828
Savana	1,59	21	26828
Deserto	1,59	21	26828

Calculadas todas as perdas térmicas, procedeu-se então ao cálculo da carga térmica de aquecimento, para cada edifício, que não é mais que somar as perdas térmicas da envolvente e por ventilação. Estas perdas correspondem assim à quantidade de energia que é preciso fornecer ao edifício para que as condições de temperatura e humidade estipuladas se mantenham (ver Tabela 25).

Tabela 25 - Carga térmica de Aquecimento de cada Bioma

Bioma	Carga Térmica de Aquecimento (kW)
Floresta tropical	149
Mesozoico	125
Dunas	47
Savana	60
Deserto	51

Verão

Nos meses de verão o problema de climatização é inverso, ou seja, é necessário estimar o valor da carga térmica a retirar do edifício. Considerou-se para o cálculo o pior cenário possível, o período diurno no verão.

Existem diferentes metodologias para proceder á determinação da carga térmica de arrefecimento, enumeram-se dois exemplos em seguida:

- Método da diferença da temperatura diferencial (TETD/TA)
- Método da diferença de temperatura (CLTD ou CLTD/CLF)

O método que foi utilizado foi o CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*) porque se trata de um método de aproximação, é o menos complexo e o mais indicado para cálculo manual.

Procedeu-se à caracterização dos edifícios para dar início ao procedimento matemático e o resultado foi o seguinte:

- Tipo: Edifício de exposição
- Local: Vila Nova de Gaia
- Horário de funcionamento: 9h até as 18h
- Ocupação equivalente: 3 pessoas
- Iluminação: Não possuem
- Equipamentos elétricos: Não possuem

O levantamento dimensional de cada edifício e respetivas orientações é apresentado na Tabela 26.

Tabela 26 - Valores das áreas expostas às respetivas orientações

		Área (m ²)		Coeficiente de expansão térmica (W/m ² °C)	Fator solar de vãos com proteção solar ativada
		SE	SW	U	G _{100%}
Floresta tropical	Policarbonato	158,69		3,5	0,55
	Chapa	317,38		4,15	
Mesozoico	Policarbonato	107,33		3,5	0,55
	Chapa	214,66	162,11	4,15	
Dunas	Policarbonato	79,68		3,5	0,55
	Chapa	159,35	162,11	4,15	
Savana	Policarbonato	92,67		3,5	0,55
	Chapa	185,34		4,15	
Deserto	Policarbonato		49,28	3,5	0,55
	Chapa	66,45	83,35	4,15	

A caracterização climática e geográfica pode ser resumida à informação que consta na Tabela 27.

Tabela 27 - Caracterização climática e geográfica do Biorama

Porto	
Latitude, Longitude	41° 05' N, 8° 33'W
Temperatura exterior de projeto (99%)	29,8 °C
Temperatura bolbo húmido coincidente	18,3 °C
Amplitude térmica	9,6 °C

A expressão que permite então o cálculo da carga térmica de arrefecimento é a expressão (12):

$$CT_{Total} = CT_{Envovlente\ exterior} + CT_{G\ internos} + CT_{ar\ novo} \quad (12)$$

A carga térmica da envolvente exterior pode ser calculada pela expressão (13).

$$CT_{Envovlente\ exterior} = \sum U_i \times A_i \times CTLD_i \quad (13)$$

Em que:

U – Coeficiente de expansão térmica [W/m²K]

A – Área [m²]

CLTD – Cooling load temperature difference [°C]

i – Parede, cobertura, envidraçado

A única incógnita da expressão é o CTLD e existem tabelas para consulta, conhecendo a sua orientação geográfica e as horas de utilização, ou muitas vezes torna-se necessário introduzir uma correção através da expressão (14). [9]

$$CLTD_{Corrigido} = (CLTD + LM) \times K + (25 - T_{int}) + (T_m - 25,5) \quad (14)$$

Em que:

LM- correção latitude mês

K – 1; 0,83; 0,65, respectivamente para cores escuras, médias e claras

T_{int} – Temperatura interior 25°C

T_m – Temperatura média do dia do projeto 27,5°C

CLTD – *Cooling load temperature difference* [°C]

A correção da latitude-mês foi considerada igual a zero após consulta da norma ASHRAE 55-2010, para a latitude de 40° (valor mais próximo de 41°). [10] Tal como anteriormente, o fator K foi considerado o pior possível, ou seja, o correspondente à cor escura. Assim sendo o resultado da expressão (14) será a expressão (15):

$$CLTD_{Corrigido} = CLTD + 2 \quad (15)$$

Para cada edifício do Biorama e para cada hora de funcionamento foi determinado o CLTD corrigido. Os valores da área e do coeficiente de expansão térmica são os apresentados na tabela 26. Os valores de carga térmica para a floresta tropical são apresentados na Tabela 28, os restantes valores encontram-se no Anexo B.

Tabela 28 - Ganhos por condução da parede de chapa

Floresta tropical	CLTD Tabelado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelado (°C)	CT ^{Envolvente Exterior} (W)
9h	4,9	317,38	4,15	6,9	9088
10h	5,7			7,7	10142
11h	7,2			9,2	12118
12h	9,4			11,4	15015
13h	12			14	18440
14h	14,8			16,8	22128
15h	17,5			19,5	25684
16h	19			21	27660
17h	21,7			23,7	31216
18h	22,7			24,7	32533

Seguiu-se a mesma metodologia para os ganhos através dos envidraçados, que no caso Biorama se trata da parte da construção em policarbonato. Os valores de área e de Coeficiente de expansão térmica encontram-se na Tabela 26. Os valores dos ganhos através dos envidraçados são apresentados na Tabela 29, os restantes valores encontram-se no Anexo B.

Tabela 29 - Ganhos por condução dos envidraçados

Floresta tropical	CLTD Tabelado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelado (°C)	Ganhos por condução Envidraçados (W)
9h	4,9	158,69	3,50	6,9	3832
10h	5,7			7,7	4277
11h	7,2			9,2	5110
12h	9,4			11,4	6332
13h	12			14	7776
14h	14,8			16,8	9331
15h	17,5			19,5	10831
16h	19			21	11664
17h	21,7			23,7	13163
18h	22,7			24,7	13719

Ainda para os ganhos térmicos da envolvente foi determinado os ganhos solares e a expressão que permite determinar o seu valor é apresentada de seguida. [21]

$$CT_{g\ solar} = A_{inv} \times SC \times G_{sol} \times CLF \quad (16)$$

Em que:

CLF – *Cooling load factor*

SC – Coeficiente de sombra, [adimensional]

G_{sol} – Intensidade de radiação solar incidente num dia de céu limpo [W/m^2]

A_{inv} – Área de envidraçado [m^2]

$CT_{g\ solar}$ – Ganhos solares [W]

O coeficiente de sombra foi determinado a partir da expressão (17).

$$SC = \frac{g_t}{0,87} = 0,63 \quad (17)$$

A intensidade de radiação solar incidente num dia de céu limpo é um valor obtido por consulta de uma tabela constante na norma ASHRAE 55-2010, e é igual a 536. [10] Os resultados dos ganhos solares para o Bioma Floresta Tropical são apresentados na Tabela 30, os restantes encontram-se no Anexo B.

Tabela 30 - Resultados dos ganhos solares para o bioma Floresta Tropical

Floresta tropical	A x G x SC (W)	CLF SE	Ganhos Solares por radiação (W)
9h	53586	0,55	29472
10h	53586	0,58	31080
11h	53586	0,55	29472
12h	53586	0,47	25185
13h	53586	0,39	20898
14h	53586	0,36	19291
15h	53586	0,33	17683
16h	53586	0,3	16075
17h	53586	0,27	14468
18h	53586	0,23	12324

Em seguida determinaram-se os valores dos ganhos internos. Para tal, foram considerados 3 ocupantes e as expressões (18) e (19).

$$CT_{Ocupação\ Sensível} = N_{Pessoas} \times Q_{Sensível} \times CLF_{Pessoas} \quad (18)$$

$$CT_{Ocupação\ Latente} = N_{Pessoas} \times Q_{Latente} \quad (19)$$

CLF pessoas – por hora de ocupação; CLF =1 se o edifício está ocupado 24h/dia e/ou o sistema de arrefecimento estiver desligado á noite ou fins-de-semana.

Q sensível – 75 W/pessoa

Q latente – 55 W/pessoa

Os resultados são apresentados na Tabela 31 e porque não dependem das áreas de cada edifício, foram iguais para todos os biomas.

Tabela 31 - Ganhos internos provocados pelos ocupantes em qualquer Bioma

	CLF pessoas	Q sensível (W)	Q latente (W)
9h	0	0,00	165
10h	0,54	121,50	165
11h	0,59	132,75	165
12h	0,63	141,75	165
13h	0,67	150,75	165
14h	0,69	155,25	165
15h	0,72	162,00	165
16h	0,73	164,25	165
17h	0,75	168,75	165
18h	0,32	72,00	165

A ventilação de um espaço também acarreta ganhos internos, motivo pelo qual se procedeu à sua determinação a partir das expressões (20) e (21).

$$Q_{Ventilação\ Sensível} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (20)$$

$$Q_{Ventilação\ Latente} = \dot{m} \times (\Delta h - C_p \times \Delta T) \quad (21)$$

Em que:

$Q_{ventilação\ sensível}$ – Perda térmica devido a ventilação sensível [W]

$Q_{ventilação\ latente}$ - Perda térmica devido a ventilação latente [W]

C_p – Calor específico [J/kg K]

ΔT – Diferença entre as temperaturas do ar interior e exterior [°C]

Δh – Diferença entre as entalpias do ar interior e exterior [kJ/kg]

A ventilação latente não vai ser determinada porque não é um ganho, quanto muito estaria a contribuir para o arrefecimento do espaço. Sendo assim os ganhos por ventilação são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Ganhos devido à ventilação

	ΔT (°C)	Caudal Mássico (kg/s)	Ganhos térmicos por ventilação (W)
Floresta tropical	0,2	1,28	256
Mesozoico	1,2	0,85	1022
Dunas	0,2	1,59	319
Savana	0,2	1,59	319
Deserto	4,2	1,59	6692

Para se obter o valor da carga térmica de arrefecimento torna-se necessário somar todos os ganhos térmicos que foram calculados, perdas por condução da parede, ganhos por condução dos envidraçados, ganhos solares, ganhos internos provocados pelos ocupantes e os ganhos devido à ventilação. A forma pormenorizada do cálculo encontra-se no Anexo C, que sugere a determinação da carga térmica do edifício para cada hora de utilização.

Depois de obter o diagrama de necessidades térmicas ao longo do dia do edifício, o valor em análise será o mais alto. Se o sistema de climatização for projetado para esse valor, garantirá que em valores inferiores o sistema de climatização é suficiente. Os valores calculados e em análise são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 - Valores máximos para a carga térmica de Arrefecimento

Bioma	Carga térmica de Arrefecimento (kW)
Floresta tropical	59
Mesozoico	57
Dunas	47
Savana	35
Deserto	36

O balanço térmico é efetuado recorrendo à diferença aritmética entre os ganhos externos e a carga térmica. Neste caso não foi determinado e considerou-se que as necessidades de climatização dos biomas, são iguais à carga térmica determinada. A razão para tal aproximação deve-se ao fato dos valores de ganhos externos serem de uma grandeza inferior aos valores das respetivas cargas térmicas. Esta aproximação poderá ser vista como um coeficiente de segurança, provocando um sobredimensionamento do sistema térmico.

2.4.3. Ventilação Natural

O fluxo de ar que entra e sai de um edifício por ventilação natural depende da diferença de pressão e da resistência oferecida pelas aberturas. A movimentação do ar pode ser gerada pelo efeito chaminé, pelo efeito dos ventos ou ainda pelos dois simultaneamente. Quando existe ausência de vento, é o efeito chaminé o responsável pela movimentação do ar originado pela diferença de temperatura e por conseguinte pela diferença de densidade entre o ar externo e interno do edifício. Quando a temperatura interna é maior que a externa, o ar mais frio entra pelas aberturas mais baixas e sai pelas aberturas mais altas do Biorama.

Um parâmetro que é necessário saber nestes sistemas de climatização é o caudal de ar que poderá ser originado. Devido à falta de disponibilidade em utilizar um anemómetro de fio quente optou-se por estimar o caudal de ar, baseado nas temperaturas conhecidas e adotadas e nas dimensões físicas dos edifícios. Alguns exemplos, como a expressão de *Baturin*, as equações de Frota ou ainda a expressão de *Silvani*, são capazes de estimar esse valor. Por fim, optou-se pela expressão de *Silvani*.

Expressão de *Silvani* (2005)

Segundo a autora, a expressão sugerida para determinar o caudal de ar gerado pelo efeito chaminé é a seguinte:

$$Q_{ec} = 1,91 \times A_e \times \sqrt{h \frac{\Delta t_{avg}}{t_e + 273}} \sqrt{\frac{2A_s^2}{A_e^2 + A_s^2}} \quad (22)$$

Em que:

Q_{ec} = Caudal de entrada de ar [m³/s]

A_e = Área das aberturas de entrada de ar [m²]

A_s = Área das aberturas de saída de ar [m²]

h = Distância vertical entre as aberturas de entrada e saída de ar [m]

Δt_{avg} = Diferença de temperaturas entre ar interno e externo [°C]

T_e = Temperatura do ar externo [°C]

Para determinar o caudal de ar nas aberturas por efeito do vento, a autora sugere a seguinte expressão:

$$Q_{ec} = 0,61 \times V \times \sqrt{cpe_e - cpe_s} \sqrt{\frac{A_e^2 \times A_s^2}{A_e^2 + A_s^2}} \quad (23)$$

Em que:

V = Velocidade do vento não perturbado, na cota de referência [m/s]

A_e = Área das aberturas de entrada de ar [m²]

A_s = Área das aberturas de saída de ar [m²]

cpe_e = Coeficiente de pressão ponderado nas aberturas de entrada de ar

cpe_s = Coeficiente de pressão ponderado nas aberturas de saída do ar

Para a determinação do caudal de ar gerado quer pelo efeito chaminé ou por ação dos ventos utiliza-se a expressão seguinte:

$$Q_{er} = Q_{ec} \times \sqrt{1 + \left(\frac{Q_{ev}}{Q_{ec}}\right)^2} \quad (24)$$

O número de aberturas e saídas em cada edifício é igual, à exceção do bioma floresta tropical, que possui mais duas aberturas de entrada e mais uma de saída. Cada abertura tem dimensões aproximadas de 2 m de comprimento por 1 m de largura.

Os valores calculados são estimativas do caudal de ar gerado por todas as aberturas e saídas de ar, nas condições consideradas. Com estes valores de caudal é possível ter uma estimativa da quantidade de calor que o sistema de climatização natural consegue retirar de cada edifício. Sendo assim e para o verão, os valores de caudais estimados segundo a

Expressão 22, são apresentados na Tabela 34. O cálculo detalhado encontra-se em Anexo F.

Tabela 34 - Caudais de ar gerados para o efeito chaminé no verão

Bioma	Te (°C)	Δt_{avg} (°C)	$Q_{e\ c}$ (m³/s)	m (kg/s)
Floresta tropical	29,8	0,2	1,04	1,26
Mesozoico	29,8	0,2	0,69	0,84
Dunas	29,8	0,7	1,30	1,57
Savana	29,8	0,7	1,30	1,57
Deserto	29,8	0,7	1,30	1,57

A estimativa efetuada da quantidade de calor que o sistema de climatização natural consegue retirar de cada edifício, foi utilizada a expressão (10), os valores de caudal da Tabela 34 e os valores da diferença de entalpia entre o ar interior e exterior da Tabela 24. Os valores calculados encontram-se apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 - Calor transportado por convecção

Bioma	m (kg/s)	Δh (kJ/kg)	Perda Térmica (W)
Floresta tropical	1,26	52	65520
Mesozoico	0,84	54	45360
Dunas	1,57	21	32970
Savana	1,57	9	14130
Deserto	1,57	12	18840

2.5. Solução para o problema de Climatização do Biorama

Durante a análise que foi efetuada a cada edifício identificaram-se as necessidades de climatização, quer de aquecimento ou de arrefecimento, de cada um dos biomas. Verificou-se também que alguns biomas não necessitam de aquecimento, porque os seus valores de temperatura e humidade já se encontravam dentro da gama definida. Os cálculos apresentados são para todos os biomas, mas não serão todos alvo de reflexão, apenas os que têm necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento.

2.5.1. Aquecimento

No ponto 2.3 foram apresentadas as gamas de valores de temperatura e humidade definidas para cada bioma, bem como uma breve análise das suas necessidades de aquecimento nas estações frias e arrefecimento nas estações quentes.

As soluções que a seguir são apresentadas não resolverão por completo o problema do desequilíbrio na climatização do Biorama, mas melhorarão e minimizarão os custos e manterão as preocupações sustentáveis do PBG.

Aquecimento Solar

Sugere-se ao PBG a construção de um conjunto de coletores solares, recorrendo à utilização de materiais reciclados. Para tal, utilizar-se-iam algumas tabuas de madeira, latas de refrigerante, tinta preta e uma placa de policarbonato. Acredita-se que a ideia ainda que rudimentar terá um impacto positivo nas crianças, na climatização do próprio edifício bem como um baixo custo. Apresenta-se na Figura 12 um esboço do painel solar a construir:



Figura 12 – Esboço exemplo do painel solar

Depois da construção do perfil em madeira, as latas são furadas e encaixadas base com topo de forma a constituir um tubo. Posteriormente estes tubos são pintados e colocados dentro do perfil. O painel terá a dimensão de 2 m de comprimento, por 1 m de altura. Será constituído por 15 filas, onde cada fila é constituída por aproximadamente 16 latas.

O painel solar deverá ser colocado com a orientação a Sul, com um ângulo de inclinação em relação ao solo de 35° (valor adequado para a latitude de 41°). O princípio de funcionamento é esquematizado na Figura 13.



Figura 13 - Esquema de funcionamento do painel solar

O ar descoloca-se por convecção e o seu caudal foi determinado recorrendo à expressão (22), (ver Tabela 34). Para tal, foi preciso saber a temperatura do ar de saída do painel solar, e como esta não existe arbitrou-se um valor, que por iterações sucessivas, permitiu o cálculo. A estimativa inicial foi de 26°C , que juntamente com os seguintes dados apresentados na Tabela 36 permitiu realizar o cálculo dos caudais. Os cálculos detalhados encontram-se no Anexo D.

Tabela 36 - Características do painel solar

Comprimento	2	m
Altura	1	m
Número de filas	15	
Área	0,64	m ²
Diferença de Cota (h)	0,8	m
T entrada do ar no painel	17	°C
T saída do ar do painel	22	°C
ΔT	5	°C

Este painel solar poderá ser tratado como um permutador de calor. Para a determinação da potência do painel é preciso estimar a temperatura que as latas de alumínio atingirão. A irradiação solar expressa a quantidade de radiação do sol por unidade de área. A densidade média do fluxo energético proveniente da radiação solar é de 1367 W/m², quando medida num plano perpendicular à direção da propagação dos raios solares no topo da atmosfera terrestre. A radiação solar que efetivamente chega à superfície terrestre é de cerca de 1000 W/m². A quantidade total de energia recebida pela Terra é determinada pela projeção da sua superfície sobre um plano perpendicular à propagação da radiação. (ver Expressão 25). Como o planeta roda em torno do seu eixo, esta energia é distribuída, embora de forma desigual, sobre toda a sua superfície. [23]

$$Q_{\text{Radiação}} = \frac{\pi \times r^2}{4 \times \pi \times r^2} \times 1000 \quad (25)$$

Em que:

r – Raio da terra [m]

Q_{Radiação} – Radiação solar média recebida na terra [W/m²]

Este valor diz respeito à Radiação solar média recebida na terra, na perpendicular ao solo. O painel solar analisado faz um ângulo de 30° com o solo, por isso tornou-se necessário corrigir o valor multiplicando pelo cos 30°, (Expressão 25)

$$Q_{\text{Radiação}} = 250 \times \cos 30^\circ = 216,5 \text{ W/m}^2 \quad (25)$$

A transferência de calor entre o sol e o painel solar realiza-se não só sob a forma de radiação como sob a forma de convecção. Nesta estimativa foi apenas tida em consideração a transferência de calor por radiação e admitiu-se um valor na ordem dos 65%. Recorrendo à expressão da transferência de calor por radiação (ver Expressão 26) é possível estimar a temperatura que as latas de alumínio pintadas de preto atingirão em média num dia nas estações de aquecimento.

$$Q_{\text{Radiação}} = \varepsilon \times \sigma (T_2^4 - T_1^4) \quad (26)$$

Em que:

$Q_{\text{Radiação}}$ = Radiação solar média recebida na terra [W/m^2]

ε = Emissividade da cor preta = 1

σ = Constante de proporcionalidade de *Stefan-Boltzmann* [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$]

T_1 = Temperaturas do céu [K]

T_2 = Temperatura das latas de alumínio (área absorvedora de radiação) [K]

Considerou-se que 20% do valor da radiação solar média recebida no painel é perdida por convecção e condução. A temperatura T_1 considerada é de 8°C, valor médio exterior para o inverno em Vila Nova de Gaia. [24]

Resolvendo a expressão (26) em ordem à temperatura T_2 obtêm-se a temperatura que as latas atingirão.

$$T_2 = 33^\circ \text{C} \quad (27)$$

A potência do painel solar pode ser calculada pela seguinte Expressão 29):

$$Q = A \times U \times \Delta T_{ln} \times Fc \quad (29)$$

Em que:

Q – Potencia do permutador [W]

A – Área de transferência [m²]

U – Coeficiente global de transferência de calor (ar/ar) [W/m²K]

Fc – Fator de correção para um permutador simples de uma só passagem

A fórmula que permite determinar o coeficiente global de transferência de calor é a seguinte:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_q} + \frac{e}{k_{Alumínio}} + \frac{1}{h_f}} \quad (30)$$

Em que:

h - coeficiente de calor por convecção do ar [W/m²·K]

k - condutividade do alumínio [W/m K]

e - espessura da parede das latas de alumínio [m]

q – Fluido quente

f – Fluido frio

A espessura da chapa de uma lata de refrigerante é de 0,24 mm. [25]. A condutividade térmica do alumínio é de 237 W/m.K. [26]. Em relação ao coeficiente de calor por convecção do ar, utilizou-se uma aproximação. O valor utilizado foi o de 15 W/m²K. [27]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0,00024}{237} + \frac{1}{15}} = 7,5 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (30)$$

Pode-se estimar a potência calorífica por painel solar para cada bioma recorrendo á expressão (29). Os dados intermédios também se encontram na Tabela 37. Para consulta mais detalhada dos cálculos ver Anexo D.

Tabela 37 - Resultados para as potências da radiação incidente num painel

Bioma	Área de transferência (m ²)	$\Delta t \ln$ (°C)	U (W/m ² K)	Q potência fornecida pelo painel (W)
Floresta tropical	6,0288	10,380	7,500	469
Mesozoico		11,130		503
Dunas		11,314		512
Savana		11,497		520
Deserto		10,188		461

A eficiência de um painel solar comercial é próximo dos 30%. Baseado nesta eficiência a Tabela 38 indica a potência fornecida ao ar por um painel.

Tabela 38 - Potência fornecida ao ar por um painel

Bioma	Q potência fornecida pelo painel (W)
Floresta tropical	141
Mesozoico	151
Dunas	153
Savana	156
Deserto	138

Estimou-se também a temperatura a que o ar sairia do painel solar, ou seja a temperatura que o painel aqueceria o ar (ver Tabela 39).

Tabela 39 - Comparação das temperaturas interiores com as temperaturas de saída do painel

Bioma	T internas medidas no inverno (°C)	T de saída do ar do painel (°C)
Floresta tropical	17,0	18,2
Mesozoico	15,0	16,3
Dunas	14,5	15,8
Savana	14,0	15,3
Deserto	17,5	18,7

Acumulador de calor elétrico

Outra solução, ou parte integrante de uma solução mais complexa, são os acumuladores de calor. Os acumuladores de calor são sistemas de aquecimento elétrico por efeito de Joule no interior de blocos de cerâmica (ver Figura 16).



Figura 14 -Acumulador Elétrico

Estes equipamentos são concebidos para manterem um espaço a uma determinada temperatura constante, durante 24 horas, estando em carga apenas durante as horas de vazio (período noturno). O aquecimento obtém-se por dissipação do calor, por convecção natural ou ventilação forçada e por radiação. Estes equipamentos utilizam o princípio da inércia térmica e não necessitam de grande manutenção. Existem várias ofertas no mercado, e por se tratar de edifícios com grandes áreas recomenda-se a utilização de aparelhos com grande potência.

De notar que apenas os biomas da floresta tropical, mesozoico e dunas têm necessidades de aquecimento. Admitindo que o ar de saída do acumulador é 26°C determinaram-se os valores de potência para os diferentes biomas (ver Tabela 40).

Tabela 40 - Valores da potência do acumulador para uma temperatura de saída de 26°C

Bioma	h convecção (W/m²·K)	Área (m²)	Δt (°C)		Potência necessária (Watts)
Floresta tropical	15	0,8239	17,0	26	111,2
Mesozoico			15,0	26	135,9
Dunas			14,5	26	142,1

2.5.2. Humidade

A humidade relativa tem oscilações fortes fora dos parâmetros estabelecidos. De uma forma geral é necessário reduzir a humidade relativa dos biomas, especialmente no inverno. No verão as necessidades dividem-se, dois edifícios necessitam de humidificação e outros dois precisam de reduzir a humidade relativa.

No verão, a Floresta tropical e as Dunas poderiam usar os aspersores de água que ambos possuem. Este sistema pulveriza água no ar ambiente, mas muita dessa água não fica em estado vapor imediatamente, cai no chão como se fosse chuva, algo que não é compatível com a fauna e a flora existentes nos biomas.

Uma solução alternativa ou de complemento será a de utilizar um sistema simples de evaporação de água acoplado às grelhas de insuflação. Este sistema é simples, e pode ser construído no PBG com um tipo de esponjas que serão suspensas nas aberturas inferiores de ventilação. Assim, quando o ar novo e fresco entra no edifício, ao passar pelas esponjas com água, aumenta a sua humidade relativa. A única preocupação que existirá será a de ir garantindo a molhabilidade das esponjas.

No que diz respeito à desumidificação, o problema é mais difícil de resolver já que todos os biomas à exceção da Floresta tropical necessitam de baixar a sua humidade relativa. Esta necessidade aparece no inverno onde a humidade relativa do ar exterior é elevada. Algo que ajuda a humidade a não diminuir é a falta de aquecimento, mas seguramente com

as propostas já sugeridas (acumuladores e painéis) haverá uma diminuição da humidade relativa do ar. Ainda assim sugere-se a utilização de um material higroscópico (por exemplo carvão ou cloreto de cálcio, ...) do lado interior das grelhas de insuflação de ar. Estes compostos absorvem a água presente do ar, baixando assim a humidade relativa do ar novo.

2.5.3. Arrefecimento

O arrefecimento não é um problema grave, pois nenhum dos biomas apresenta valores de temperatura fora dos parâmetros definidos. O bioma Mesozoico apresenta uma pequena diferença positiva, que se justifica pelo facto de este bioma apresentar uma maior exposição direta ao sol. Mas mesmo esta diferença não é significativa e não justifica nenhuma intervenção.

Os restantes edifícios refletem as características climáticas dos biomas que representam e apenas no corredor de ligação, onde se situa uma pequena zona de exposição e convívio para crianças e adultos, se deve ter em conta o conforto das pessoas. Só nesta zona é que se justifica alguma intervenção com o intuito de o arrefecer.

A ligação do corredor aos edifícios dos biomas é feita diretamente, não há portas ou qualquer tipo de estanquicidade. Na altura da visita, este possuía apenas umas cortinas para afoguentar insetos. Ora, uma das soluções que contribuem para a melhoria da eficiência é a separação entre o ar frio e quente, ou seja, seria vantajoso trocar as cortinas atuais por umas lâminas de plástico como se pode observar na Figura 17. É uma solução que não necessita de grandes obras ou gastos.



Figura 15 - Exemplo da cortina de lâminas de plástico

Para um maior arrefecimento da estrutura sem recurso a sistemas mecânicos poderia utilizar-se uma rede de suporte à volta da estrutura exterior, e introduzir uma planta trepadeira de folha caduca que permitisse sombrear o corredor de forma eficaz no verão (ver Figura 18). A instalação desta planta tem um custo de 5€ por planta. [18]



Figura 16 - Exemplo de um telhado coberto por vegetação

Uma outra alternativa seria a colocação de uma tela de cor branca ou muito clara na estrutura exterior do corredor, algo que até já acontece com os outros edifícios. Este tipo de medida permite no verão reduzir de forma significativa os ganhos solares.

Na visita efetuada às instalações foi possível observar duas ventoinhas de 600 Watts com dimensão considerável instaladas ao fundo do dito corredor. Se optar por consumos elétricos e convecção forçada para este espaço, então é preferível instalar um pequeno sistema de ar condicionado. Para tal, considerou-se uma média de ocupação de 3 pessoas permanentemente no espaço, a área do espaço é de 230 m².

Uma boa forma de estimar a potência do ar condicionado, que é necessário para um determinado espaço, é utilizar 600 BTU por metro quadrado, assumindo apenas duas pessoas nesse espaço e posteriormente adicionar mais 600 BTU por cada pessoa extra. Efetuando o cálculo para o corredor, assumindo uma utilização de 9 horas, verifica-se que a potência seria de aproximadamente 16000 BTU/h, ou 4700 W.

Este equipamento (ver Figura 17) trará o benefício de poder ser utilizado tanto para aquecer no inverno, como para arrefecer no verão. Embora o consumo de energia seja superior ao das ventoinhas o aparelho de AC possui regulação e não estará 9 horas consecutivas a funcionar. As ventoinhas como se sabe não arrefecem o ar, apenas o movimentam o que provoca a sensação de arrefecimento, ao contrário do AC que arrefece efetivamente o espaço.

2.6. Análise da Qualidade do Ar

A exposição prolongada a ambientes com má qualidade do ar pode, a curto prazo, provocar sintomas adversos com reflexo na saúde e bem-estar dos ocupantes, por exemplo:

- Irritação dos olhos ou olhos vermelhos
- Garganta seca ou garganta irritada
- Nariz entupido ou defluxo nasal
- Dores de cabeça

- Fadiga sem justificação evidente (particularmente no final do dia)
- Tonturas.

Em situações mais graves, pode traduzir-se, a curto e médio prazo, em problemas graves de saúde, como por exemplo:

- Infecções frequentes, tais como, gripe ou constipações;
- Ataques de asma;
- Infecções pela bactéria da *Legionella* como resultado da exposição a aerossóis infetados com aquela bactéria;
- Envenenamento por monóxido de carbono, devido a má exaustão dos gases de combustão.

Para uma análise mais concreta das concentrações dos principais contaminantes do ar, foram efetuadas medições individuais para os diferentes biomas. Os principais contaminantes do ar analisados foram os seguintes:

- Dióxido de Carbono, CO₂
- Monóxido de Carbono, CO
- Ozono, O₃
- PM₁₀
- Radão

O RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Decreto-Lei n.º 79/06 de 4 de Abril) impõe os seguintes limites máximos à concentração de poluentes no ar, que são apresentados na seguinte Tabela 41:

Tabela 41 - Concentrações máximas das poluentes recomendadas

Poluente	Concentração máxima de referência
Dióxido de carbono (CO ₂)	1000 ppm
Monóxido de Carbono (CO)	8,6 ppm
Ozono (O ₃)	0,2 mg/m ³
Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	0,15 mg/m ³
Radão	400 Bq/m ³

As medições das concentrações do dióxido de carbono, monóxido de carbono e ozono, foram realizadas com a sonda da marca *Graywolf* e modelo IQ 610 (ver Figura 19).



Figura 17 - Sonda multiparamétrica *Graywolf IQ 610*

Os resultados das medições em função de 3 diferentes biomas foram os seguintes:

Tabela 42 - Resultados das medições realizadas

	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	Ozone (mg/m ³)
Floresta tropical	509	0	0,23
Mesozoico	417	0	0,09
Savana	633	0,3	0,23

Os valores destes gases encontram-se dentro dos limites impostos pela legislação. É importante referir que a concentração de O₃ encontrada está no limite superior do permitido. Em termos médios a concentração encontrada não ultrapassa o imposto por lei, mas em duas medições efetuadas os valores estão três centésimas acima do limite.

O Radão é um elemento químico com o símbolo Rn, é um gás nobre que se difunde em ambientes de convívio humano por meio de materiais de construção, solo e água, podendo continuar o seu processo de fissão emitindo partículas alfa, beta e gama. Esta radioatividade equivale a 54% das radiações a que estamos sujeitos. As medições no Biorama foram efetuadas com um equipamento de marca *Sarad*, modelo *Radon Scout Plus* (ver Figura 20).



Figura 18 - Sonda *Radon Scout Plus*

Após uma primeira tentativa, a segunda medição teve lugar no dia 30 de Julho de 2014, produziu os seguintes valores na Tabela 43. Ambos apresentam valores que estão abaixo do valor máximo estipulado pela legislação.

Tabela 43 - Resultados das medições ao Radão na Floresta Tropical e na Savana

Bioma	Bq/m³
Floresta tropical	27
Savana	9

As PM₁₀ são um tipo de partículas inaláveis, de diâmetro inferior a 10 micrómetros (µm), e constituem um elemento de poluição atmosférica. Podem penetrar no aparelho respiratório provocando doenças respiratórias.

Os valores obtidos nas medições (ver Tabela 44) mostram que a concentração de partículas PM₁₀ está dentro dos limites estipulados pela legislação.

Tabela 44 - Resultados das medições efetuadas às partículas suspensas PM₁₀

Bioma	PM₁₀ (µg/m³)
Floresta tropical	16,83
Mesozoico	29,49
Dunas	21,08
Savana	8,6
Corredor	15,72

3. Conclusões

Neste trabalho foi efetuada uma análise térmica detalhada aos vários biomas do Biorama. Foi efetuado um balanço energético ao edifício a fim de determinar as perdas e ganhos térmicos dos 5 biomas. As cargas térmicas de aquecimento foram 149, 125, 47, 60 e 51 kW na Floresta tropical, no Mesozoico, na Dunas, na Savana e no Deserto, respetivamente. As cargas térmicas de arrefecimento foram iguais a 59, 57, 47, 35 e 36 kW na Floresta tropical, no Mesozoico, nas Dunas, na Savana e no Deserto, respetivamente.

Foi também alvo de análise a qualidade do ar interior. Foram realizados testes aos principais poluentes do ar interior nos biomas, a saber: dióxido de carbono, monóxido de carbono, ozono, PM₁₀ e radão. Todos os valores recolhidos estavam dentro dos valores estabelecidos pela norma RSECE.

Foram apresentadas várias soluções para melhorar e complementar o sistema atual de climatização do Biorama. Muitas vezes, a solução não está na introdução de novos equipamentos, mas na correta utilização dos sistemas já instalados. Para o aquecimento foram avançadas duas soluções, uma com recurso a um painel solar e outra utilizando um

acumulador de calor. Estes sistemas foram comparados com a de um aquecedor elétrico de 150 € de investimento inicial e de 850 € de consumo elétrico mensal. Para o acumulador de calor estimou-se um consumo elétrico de 285 €/mês com custos de manutenção na ordem dos 20% do seu custo de aquisição. No caso do painel solar, o período de retorno de investimento são 6 meses e, no caso do acumulador, 6 meses.

Em relação à desumidificação foi sugerido a utilização de um material higroscópico. Já na humidificação optou-se por sugerir uma melhor e mais repetida utilização do sistema de aspersão existente, bem como a introdução de um sistema de esponjas com água nas entradas de ar dos biomas. Os suportes das esponjas e do carvão, a ser construídos no PBG, terão um custo estimado de 200 €, e estima-se um consumo de carvão e/ou cloreto de sódio na ordem dos 40 €/mês nos meses de inverno. É ainda preciso ter em conta que os aspersores serão utilizados com mais frequência o que irá incorrer num aumento do consumo de água.

Para o arrefecimento, as soluções avançadas apresentam também custos baixos. A substituição das cortinas por separadores de lâminas de plástico apresenta um custo à volta dos 40 €/m².

Estimar os custos da instalação da tela ou do sistema usando uma planta trepadeira, é mais difícil. Ainda assim não parece que seja necessário um grande investimento para levar esta solução a bom porto. A solução de instalação do equipamento de ar condicionado é uma solução que visa o conforto dos visitantes. Foi determinado que 16 000 BTU seriam o suficiente para climatizar convenientemente o local.

Referências Documentais

- [1] Eurostat Energy Statistics [Online] Available: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables [Acedido em 9 de Junho 2014].
- [2] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia Estatísticas-Energia [Online] Available: <http://www.dgeg.pt/> [Acedido em Junho de 2014].
- [3] PNAEE – Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética [Online] Available: www.eficiencia-energetica.eu/PNAEE.pdf [Acedido em Junho de 2014].
- [4] PNAEE 2016 – [Online] Available: [http://www.vda.pt/xms/files/Newsletters/Flash_Projetos -
Infraestruturas Energia Recursos Naturais -
PNAEE 2016 e PNAER 2020 As novas metas da Eficiencia Energetica e da
s Energias Renovaveis-11.04.2013-.pdf](http://www.vda.pt/xms/files/Newsletters/Flash_Projetos_-_Infraestruturas_Energia_Recursos_Naturais_-_PNAEE_2016_e_PNAER_2020_As_novas_metas_da_Eficiencia_Energetica_e_das_Energias_Renovaveis-11.04.2013-.pdf) [Acedido em Junho de 2014].
- [5] PBG – Parque Biológico de Gaia [Online] Available: <http://www.parquebiologico.pt/doc.php?id=178&PAG=Hist%F3ria> [Acedido em Junho de 2014].
- [6] Wikipedia [Online] Available: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Mesozoico> [Acedido em Junho de 2014].
- [7] MENDES, Casimiro; GUERREIRO, Rita; SANTOS, Pina; PAIVA, Vasconcelos - Temperaturas exteriores de projecto e número de graus-dias, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1989.
- [8] Tempo Europ – [Online] Available: <http://www.meteo-europ.com/pt/pt/porto/vila-nova-de-gaia-catalogo.html> [Acedido em Junho 2014].
- [9] BRAGANÇA, Luis, Excerto da Tese, *CLTD Paredes Portuguesas*, Universidade do Minho, 1996.
- [10] Ashrae 55-2010 [Online] Available: <http://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-55> [Acedido em Setembro de 2014];
- [11] EDP [Online] Available: <https://www.edp.pt/pt/particulares/bemvindoaedp/Documents/Flash.htm> [Acedido em Julho de 2014].
- [12] Wikipedia [Online] Available: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Confer%C3%Aancia de Estocolmo](http://pt.wikipedia.org/wiki/Confer%C3%Aancia_de_Estocolmo) [Acedido em Julho de 2014].
- [13] United Nations, NGO Committee on Education, *Our Common Future*, 1987. [Online] Available: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> [Acedido em Julho de 2014].

- [14] Wikipedia [Online] Available: <http://pt.wikipedia.org/wiki/ECO-92> [Acedido em Julho de 2014].
 - [15] United Nations[Online] Available: www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf [Acedido em Julho de 2014].
 - [16] Wikipedia [Online] Available: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio%2B10> [Acedido em Julho de 2014].
 - [17] European Commission [Online] Available: http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm [Acedido em Julho de 2014].
 - [18] Plant for [Online] Available: <http://www.planfor.fr/comprar,hera-comum-elegantissima,9093,PO> [Acedido em Novembro de 2014].
 - [19] Diário da Republica Decreto-Lei nº 80/2006, Nº67,4 de Abril de 2006 *I Série*, Ministério das obras públicas, transportes e comunicações, Lisboa
 - [20] LA alumínios [Online] Available: http://www.la-aluminios.com/chapasisotermicascompostas_pagina2.html [Acedido em Julho de 2014].
 - [21] Cálculo de energia *online* [Online]: <https://www.aessul.com.br/areacliente/servicos/simula.asp> [Acedido em Novembro de 2014].
 - [22] ASHRAE , Cooling Load calculations, *NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS*, Chapter 28, 1997.
 - [23] Wikipedia [Online] Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_solar Acedido em Novembro de 2014].
 - [24] Climate Data, [Online] Available: <http://pt.climate-data.org> [Acedido em Novembro de 2014].
 - [25] Banco nacional de desenvolvimento, BNDES, ANDRADE, Maria Lúcia Amarante, VIEIRA, José Ricardo Martins , CUNHA, Luiz Maurício da Silva, *LATAS PARA CERVEJAS E REFRIGERANTES: O DESAFIO ALUMÍNIO x AÇO*, 1998, [Online] Available: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/BNDES_Setorial/199803_2.html [Acedido em Novembro de 2014].
 - [26] Wikipedia [Online] Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Condutividade_t%C3%A9rmica Acedido em Novembro de 2014].
- NETO, Carlos Boabaid, *Transferência de calor*, Área técnica de refrigeração e condicionamento de ar, Instituto Federal Santa Catarina, Volume I, parte 3, 2010

Anexo A. Dados Fornecidos pelo PBG

Neste anexo A é apresentado os dados das medições fornecidos pelo PBG. Os dados foram compilados e organizados.

5-jan-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		10h	17h15	10h	17h15	10h	17h15	10h	17h15	10h	17h15
	Humidade	96%	99%	96%	95%	77%	92%	91%	95%		
		74%	65%			79%	69%	72%	65%	97%	68%
	Temperatura °C	9	6	9	6	13	6	9	6	11	12,6
		15	16			16	15	17	14	10,5	14
19-jan-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		10h30	17h	10h30	17h15	10h30	17h15	10h30	17h15	10h30	17h15
	Humidade	85%	99%	87%	94%	74%	96%	78%	97%		
		69%	68%			78%	74%	71%	66%		
	Temperatura °C	16	12	15	11	17	12	16	11	17	18
		22	21			20	20	19	18		
3-fev-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		11h	17h	11h	17h	11h	17h	11h	17h	11h	17h
	Humidade	68%	86%	67%	72%	71%	75%	78%	75%		
		58%	60%			80%	67%	70%	60%		
	Temperatura °C	17	13	15	12	9	12	7	12	15	17
		21	21			11	20	11	18		
17-fev-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		10h45	s/h	10h45	s/h	10h45	s/h	10h45	s/h	10h45	s/h
	Humidade	98%	87%	97%	64%	88%	58%	89%	69%		
		72%	60%			74%	59%	82%	60%		
	Temperatura °C	8	13	7	7	10	15	9	13	12	22
		16	22			13	22	14	19		

7-mar-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		10h20	17h20	10h20	17h20	10h20	17h20	10h20	17h20	10h20	17h20
	Humidade	100%	98%	99%	93%	100%	93%	99%	93%		
		73%	69%			86%	78%	77%	72%		
	Temperatura °C	10	13	9	13	9	13	9	13	13	17
		18	21			15	20	13	18		
8-abr-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		13h	s/h	13h	s/h	13h	s/h	13h	s/h	13h	s/h
	Humidade	37%	92%	91%		31%	46%	28%	74%		
		40%	65%			42%	70%	48%	65%		
	Temperatura °C	28	19	30		27	25	29	18	28	
		31	27			34	25	27	22		
29-abr-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		13h	s/h	13h	s/h	13h	s/h	13h	s/h	13h	s/h
	Humidade	64%		56%		56%		51%			
		57%				69%		59%			
	Temperatura °C	25		23		23		26		26	
		30				26		27			
7-mai-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		12h	s/h	12h	s/h	12h	s/h	12h	s/h	12h	s/h
	Humidade	94%	99%	79%	76%	79%	76%	77%	94%		
		68%	68%			75%	68%	70%	75%		
	Temperatura °C	20	16	18	18	19	16	20	19	23	
		26	25			23	23	23	25		
28-mai-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		11h30	19h	11h30	19h	11h30	19h	11h30	19h	11h30	19h
	Humidade	46%	65%	43%	64%	66%	71%	45%	64%		
		50%	69%					57%	56%		
	Temperatura °C	28	22	29	25	24	22	27	23	27	28
		33	24					30	20		
3-jun-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		14h45	s/h	14h45	s/h	14h45	s/h	14h45	s/h	14h45	s/h
	Humidade	43%		51%				40%			
		52%				64%		59%			
	Temperatura °C	34		32				34		27	
		38				30		33			

27-jun-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		11h30	19h20	11h30	19h20	11h30	19h20	11h30	19h20	11h30	19h20
	Humidade	93%	55%	62%	31%	48%	50%	52%	50%		
		52%	62%			65%	59%	61%	63%		
	Temperatura °C	30	27	28	40	31	28	30	27	31	35
		35	29			29	30	33	29		
7-jul-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		12h	s/h	12h	s/h	12h	s/h	12h	s/h	12h	s/h
	Humidade	62%	58%	61%	40%	41%	52%	43%	48%		
		56%	55%			55%	59%	59%	60%		
	Temperatura °C	32	30	35	38	36	31	35	31	38	
		39	37			35	34	36	32		
27-jul-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		13h30	15h30	13h30	15h30	13h30	15h30	13h30	15h30	13h30	15h30
	Humidade	40%	21%	25%	22%	28%	21%	27%	17%		
		62%				50%		5%			
	Temperatura °C	39	43	45	44	44	42	43	45	47	44
		41				40		38			
4-ago-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		13h30	16h30	13h30	16h30	13h30	16h30	13h30	16h30	12h	16h30
	Humidade	55%	36%	31%	35%	38%	35%	29%	28%		
	Temperatura °C	34	36	39	37	35	34	38	38	41	38
31-ago-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		13h	18h30	13h	18h30	13h	18h30	13h	18h30	13h	18h30
	Humidade	32%	61%	25%	31%	25%	32%	20%	29%		
		48%	64%			46%	50%	43%	51%		
	Temperatura °C	33	28	39	38	39	34	40	33	39	35
		38	33			38	35	38	33		
6-set-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		13h30	s/h	13h30	s/h	13h30	s/h	13h30	s/h	13h30	s/h
	Humidade	55%	100%	99%	100%	92%	100%	50%	100%		
		56%	70%			64%	85%	62%	79%		
	Temperatura °C	29	18	28	18	28	17	29	17	30	
		34	26			30	24	30	22		

20-set-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		11h30	s/h	11h30	s/h	11h30	s/h	11h30	s/h	11h30	s/h
	Humidade	87%	100%	69%	78%		79%		86%		
		98%	65%				70%		70%		
	Temperatura °C	27	18	25	18		18		16	28	
		33	26				25		23		
5-out-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		12h30	18h30	12h30	18h30	12h30	18h30	12h30	18h30	12h30	18h30
	Humidade	72%	100%	61%	83%	59%	84%	65%	84%		
		62%	65%			70%	71%	66%	71%		
	Temperatura °C	21	17	22	17	22	16	20	16	24	20
		26	25			24	23	24	21		
25-out-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		13h30	s/h	13h30	s/h	13h30	s/h	13h30	s/h	13h30	s/h
	Humidade	46%	100%	50%	72%	40%	72%	41%	85%		
		54%	62%			61%	69%	63%	69%		
	Temperatura °C	29	17	26	19	30	18	29	16	25	25
		31	25			28	25	25	22		
8-nov-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		13h	s/h	13h	s/h	13h	s/h	13h	s/h	13h	s/h
	Humidade	101%	100%	96%	98%	91%	96%	95%	99%		
		70%	70%			83%	80%	79%	80%		
	Temperatura °C	16	12	14	11	14	10	14	10	15	
		21	20			19	16	19	15		
4-dez-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		s/h	s/h	s/h	s/h	s/h	s/h	s/h	s/h	s/h	s/h
	Humidade	91%	101%	77%	95%	81%	95%	89%	98%		
		65%	70%			77%	80%	74%	76%		
	Temperatura °C	10	7	10	5	10	5	10	5		
		16	13			14	11	13	11		
29-dez-10		Floresta		Mesozoico		Dunas		Savana		Deserto	
		10h	s/h	10h	s/h	10h	s/h	10h	s/h	10h	s/h
	Humidade	100%		99%		97%		98%			
		73%				84%		79%			
	Temperatura °C	11		9		9		9		12	
		16				14		14			

Anexo B. Cálculo detalhado do CLTD

São apresentados sob a forma de tabela os resultados detalhados da determinação do CLTD.

O valor CLTD foram obtidos com recurso à tabela que consta na tese de doutoramento de Luis de Bragança, [9]. Estes valores são baseados na norma ASHRAE, *Cooling Load calculations*. [22]

Os ganhos por condução da parede de chapa são apresentados nas tabelas seguintes.

Floresta tropical	CLTD Tabelado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelado (°C)	CT _{Envolvente Exterior} (W)
9h	4,9	317,38	4,15	6,9	9088
10h	5,7			7,7	10142
11h	7,2			9,2	12118
12h	9,4			11,4	15015
13h	12			14	18440
14h	14,8			16,8	22128
15h	17,5			19,5	25684
16h	19			21	27660
17h	21,7			23,7	31216
18h	22,7			24,7	32533

Mesozoico	CLTD Tabelado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelado (°C)	CT _{Envolvente Exterior} (W)
9h	4,9	376,77	4,15	6,9	10789
10h	5,7			7,7	12040
11h	7,2			9,2	14385
12h	9,4			11,4	17825
13h	12			14	21890
14h	14,8			16,8	26269
15h	17,5			19,5	30490
16h	19			21	32836
17h	21,7			23,7	37057
18h	22,7			24,7	38621

Dunas	CLTD Tabelaado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelaado (°C)	CT _{Envolvente Exterior} (W)
9h	4,9	321,47	4,15	6,9	9205
10h	5,7			7,7	10272
11h	7,2			9,2	12274
12h	9,4			11,4	15209
13h	12			14	18677
14h	14,8			16,8	22413
15h	17,5			19,5	26015
16h	19			21	28016
17h	21,7			23,7	31618
18h	22,7			24,7	32952

Savana	CLTD Tabelaado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelaado (°C)	CT _{Envolvente Exterior} (W)
9h	4,9	185,34	4,15	6,9	5307
10h	5,7			7,7	5922
11h	7,2			9,2	7076
12h	9,4			11,4	8768
13h	12			14	10768
14h	14,8			16,8	12922
15h	17,5			19,5	14998
16h	19			21	16152
17h	21,7			23,7	18229
18h	22,7			24,7	18998

Deserto	CLTD Tabelaado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelaado (°C)	CT _{Envolvente Exterior} (W)
9h	4,9	149,80	4,15	6,9	4290
10h	5,7			7,7	4787
11h	7,2			9,2	5719
12h	9,4			11,4	7087
13h	12			14	8703
14h	14,8			16,8	10444
15h	17,5			19,5	12123
16h	19			21	13055
17h	21,7			23,7	14734
18h	22,7			24,7	15355

Ganhos por condução dos envidraçados.

Floresta tropical	CLTD Tabelado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelado (°C)	Ganhos por condução Envidraçados (W)
9h	4,9	158,69	3,50	6,9	3832
10h	5,7			7,7	4277
11h	7,2			9,2	5110
12h	9,4			11,4	6332
13h	12			14	7776
14h	14,8			16,8	9331
15h	17,5			19,5	10831
16h	19			21	11664
17h	21,7			23,7	13163
18h	22,7			24,7	13719

Mesozoico	CLTD Tabelado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelado (°C)	Ganhos por condução Envidraçados (W)
9h	4,9	107,33	3,50	6,9	2592
10h	5,7			7,7	2893
11h	7,2			9,2	3456
12h	9,4			11,4	4282
13h	12			14	5259
14h	14,8			16,8	6311
15h	17,5			19,5	7325
16h	19			21	7889
17h	21,7			23,7	8903
18h	22,7			24,7	9279

Dunas	CLTD Tabelado (°C)	Área (m ²)	U (W/m ² K)	CLTD Tabelado (°C)	Ganhos por condução Envidraçados (W)
9h	4,9	79,68	3,50	6,9	1924
10h	5,7			7,7	2147
11h	7,2			9,2	2566
12h	9,4			11,4	3179
13h	12			14	3904
14h	14,8			16,8	4685
15h	17,5			19,5	5438
16h	19			21	5856
17h	21,7			23,7	6609
18h	22,7			24,7	6888

Savana	CLTD Tabelado (°C)	Área (m²)	U (W/m²K)	CLTD Tabelado (°C)	Ganhos por condução Envidraçados (W)
9h	4,9	92,67	3,50	6,9	2238
10h	5,7			7,7	2497
11h	7,2			9,2	2984
12h	9,4			11,4	3697
13h	12			14	4541
14h	14,8			16,8	5449
15h	17,5			19,5	6325
16h	19			21	6811
17h	21,7			23,7	7687
18h	22,7			24,7	8011

Deserto	CLTD Tabelado (°C)	Área (m²)	U (W/m²K)	CLTD Tabelado (°C)	Ganhos por condução Envidraçados (W)
9h	4,9	49,28	3,50	6,9	1190
10h	5,7			7,7	1328
11h	7,2			9,2	1587
12h	9,4			11,4	1966
13h	12			14	2415
14h	14,8			16,8	2898
15h	17,5			19,5	3363
16h	19			21	3622
17h	21,7			23,7	4088
18h	22,7			24,7	4260

Ganhos solares.

Floresta tropical	A x G x SC (W)	CLF SE	Ganhos Solares por radiação (W)
9h	53586	0,55	29473
10h	53586	0,58	31080
11h	53586	0,55	29473
12h	53586	0,47	25186
13h	53586	0,39	20899
14h	53586	0,36	19291
15h	53586	0,33	17684
16h	53586	0,3	16076
17h	53586	0,27	14468
18h	53586	0,23	12325

Mesozoico	A x G x SC (W)	CLF SE	Ganhos Solares por radiação (W)
9h	36243	0,55	19934
10h	36243	0,58	21021
11h	36243	0,55	19934
12h	36243	0,47	17034
13h	36243	0,39	14135
14h	36243	0,36	13048
15h	36243	0,33	11960
16h	36243	0,3	10873
17h	36243	0,27	9786
18h	36243	0,23	8336

Dunas	A x G x SC (W)	CLF SE	Ganhos Solares por radiação (W)
9h	26905	0,55	14798
10h	26905	0,58	15605
11h	26905	0,55	14798
12h	26905	0,47	12646
13h	26905	0,39	10493
14h	26905	0,36	9686
15h	26905	0,33	8879
16h	26905	0,3	8072
17h	26905	0,27	7264
18h	26905	0,23	6188

Savana	A x G x SC (W)	CLF SE	Ganhos Solares por radiação (W)
9h	31292	0,55	17211
10h	31292	0,58	18150
11h	31292	0,55	17211
12h	31292	0,47	14707
13h	31292	0,39	12204
14h	31292	0,36	11265
15h	31292	0,33	10327
16h	31292	0,3	9388
17h	31292	0,27	8449
18h	31292	0,23	7197

Deserto	A x G x SC (W)	CLF SE	Ganhos Solares por radiação (W)
9h	16641	0,14	2330
10h	16641	0,16	2662
11h	16641	0,18	2995
12h	16641	0,27	4493
13h	16641	0,4	6656
14h	16641	0,51	8487
15h	16641	0,59	9818
16h	16641	0,62	10317
17h	16641	0,58	9652
18h	16641	0,47	7821

Anexo C. Cálculo detalhado da Carga térmica

São apresentados sob a forma de tabela os resultados detalhados da determinação da Carga térmica. Os valores da área e do coeficiente de expansão térmica estão apresentados na Tabela 26.

Floresta tropical	Ganhos Condução Parede (W)	Ganhos Envidraçados (W)	Ganhos solares Radiação (W)	Ganhos internos Ocupação (W)		Ganhos térmicos Ventilação (W)	Carga térmica (W)
9h	9088,18	3832,36	29472,54	0,00	165	4,16	42562,24
10h	10141,88	4276,70	31080,14	121,50	165	4,16	45789,37
11h	12117,57	5109,82	29472,54	132,75	165	4,16	47001,84
12h	15015,25	6331,73	25185,63	141,75	165	4,16	46843,52
13h	18439,78	7775,81	20898,71	150,75	165	4,16	47434,21
14h	22127,74	9330,97	19291,12	155,25	165	4,16	51074,24
15h	25683,98	10830,59	17683,53	162,00	165	4,16	54529,26
16h	27659,67	11663,72	16075,93	164,25	165	4,16	55732,73
17h	31215,91	13163,34	14468,34	168,75	165	4,16	59185,50
18h	32533,04	13718,75	12324,88	72,00	165	4,16	58817,83

Mesozoico	Ganhos Condução Parede (W)	Ganhos Envidraçados (W)	Ganhos solares Radiação (W)	Ganhos internos Ocupação (W)		Ganhos térmicos Ventilação (W)	Carga térmica (W)
9h	10788,88	2592,02	19933,79	0,00	165	24,96	33504,66
10h	12039,76	2892,55	21021,09	121,50	165	24,96	36264,86
11h	14385,17	3456,03	19933,79	132,75	165	24,96	38097,71
12h	17825,10	4282,47	17034,33	141,75	165	24,96	39473,62
13h	21890,48	5259,18	14134,87	150,75	165	24,96	41625,24
14h	26268,58	6311,02	13047,57	155,25	165	24,96	45972,38
15h	30490,31	7325,29	11960,28	162,00	165	24,96	50127,83
16h	32835,72	7888,77	10872,98	164,25	165	24,96	51951,68
17h	37057,45	8903,04	9785,68	168,75	165	24,96	56104,89
18h	38621,06	9278,70	8335,95	72,00	165	24,96	56497,67

Dunas	Ganhos Condução Parede (W)	Ganhos Envidraçados (W)	Ganhos solares Radiação (W)	Ganhos internos Ocupação (W)		Ganhos térmicos Ventilação (W)	Carga térmica (W)
9h	9205,20	1924,21	14798,00	0,00	165	4,16	26096,57
10h	10272,47	2147,31	15605,16	121,50	165	4,16	28315,60
11h	12273,60	2565,61	14798,00	132,75	165	4,16	29939,12
12h	15208,59	3179,13	12645,56	141,75	165	4,16	31344,19
13h	18677,22	3904,19	10493,13	150,75	165	4,16	33394,45
14h	22412,66	4685,03	9685,96	155,25	165	4,16	37108,07
15h	26014,70	5437,98	8878,80	162,00	165	4,16	40662,64
16h	28015,83	5856,29	8071,64	164,25	165	4,16	42277,16
17h	31617,87	6609,24	7264,47	168,75	165	4,16	45829,49
18h	32951,95	6888,11	6188,25	72,00	165	4,16	46269,48

Savana	Ganhos Condução Parede (W)	Ganhos Envidraçados (W)	Ganhos solares Radiação (W)	Ganhos internos Ocupação (W)		Ganhos térmicos Ventilação (W)	Carga térmica (W)
9h	5307,15	2237,95	17210,84	0,00	165	4,16	24925,10
10h	5922,47	2497,43	18149,61	121,50	165	4,16	26860,16
11h	7076,20	2983,94	17210,84	132,75	165	4,16	27572,88
12h	8768,33	3697,49	14707,44	141,75	165	4,16	27484,17
13h	10768,12	4540,78	12204,05	150,75	165	4,16	27832,86
14h	12921,75	5448,93	11265,27	155,25	165	4,16	29960,36
15h	14998,46	6324,65	10326,50	162,00	165	4,16	31980,77
16h	16152,19	6811,16	9387,73	164,25	165	4,16	32684,49
17h	18228,90	7686,88	8448,96	168,75	165	4,16	34702,65
18h	18998,05	8011,22	7197,26	72,00	165	4,16	34447,69

Deserto	Ganhos Condução Parede (W)	Ganhos Envidraçados (W)	Ganhos solares Radiação (W)	Ganhos internos Ocupação (W)		Ganhos térmicos Ventilação (W)	Carga térmica (W)
9h	4289,50	1190,09	2329,69	0,00	165	87,36	8061,64
10h	4786,83	1328,08	2662,50	121,50	165	87,36	9151,27
11h	5719,33	1586,79	2995,31	132,75	165	87,36	10686,54
12h	7087,00	1966,24	4492,96	141,75	165	87,36	13940,32
13h	8703,33	2414,68	6656,24	150,75	165	87,36	18177,37
14h	10444,00	2897,62	8486,71	155,25	165	87,36	22235,94
15h	12122,50	3363,31	9817,96	162,00	165	87,36	25718,13
16h	13055,00	3622,02	10317,18	164,25	165	87,36	27410,81
17h	14733,50	4087,71	9651,55	168,75	165	87,36	28893,88
18h	15355,17	4260,19	7821,09	72,00	165	87,36	27760,80

Anexo D. Cálculo da Potência do Painel Solar

A irradiação solar expressa a quantidade de radiação do sol por unidade de área. A densidade média do fluxo energético proveniente da radiação solar é de 1367 W/m^2 , quando medida num plano perpendicular à direção da propagação dos raios solares no topo da atmosfera terrestre. A radiação solar que efetivamente chega à superfície terrestre é de cerca de 1000 W/m^2 . A quantidade total de energia recebida pela Terra é determinada pela projeção da sua superfície sobre um plano perpendicular à propagação da radiação. (ver Expressão 25). Como o planeta roda em torno do seu eixo, esta energia é distribuída, embora de forma desigual, sobre toda a sua superfície. [23]

$$Q_{\text{Radiação}} = \frac{\pi \times r^2}{4 \times \pi \times r^2} \times 1000 \quad (25)$$

Em que:

r – Raio da terra [m]

$Q_{\text{Radiação}}$ – Radiação solar média recebida na terra [W/m^2]

Este valor diz respeito à Radiação solar média recebida na terra, na perpendicular ao solo. O painel solar analisado faz um ângulo de 30° com o solo, por isso tornou-se necessário corrigir o valor multiplicando pelo $\cos 30^\circ$, (Expressão 25)

$$Q_{\text{Radiação}} = 1000 \times \cos 30^\circ = 866,3 \text{ W/m}^2 \quad (25)$$

Recorrendo à expressão da transferência de calor por radiação (ver Expressão 26) é possível estimar a temperatura que as latas de alumínio pintadas de preto atingirão em média num dia nas estações de aquecimento.

$$Q_{\text{Radiação}} = \varepsilon \times \sigma (T_2^4 - T_1^4) \quad (26)$$

Em que:

$Q_{\text{Radiação}}$ = Radiação solar média recebida na terra [W/m^2]

ε = Emissividade da cor preta =1

σ = Constante de proporcionalidade de *Stefan-Boltzmann* [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$]

T_1 = Temperaturas do céu [K]

T_2 = Temperatura das latas de alumínio (área absorvedora de radiação) [K]

Considerou-se que 20% do valor da radiação solar média recebida no painel é perdida por convecção e condução. A temperatura T_1 considerada é de 8°C, valor médio exterior para o inverno em Vila Nova de Gaia. [24]

Resolvendo a expressão (26) em ordem à temperatura T_2 obtêm-se a temperatura que as latas atingirão.

$$T_2 = 33 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (27)$$

Trata-se apenas de uma estimativa inicial que serviu para se começar um processo iterativo. Utilizou-se este valor para determinar o valor do ΔT_{ln} . Efetuou-se os cálculos seguintes (ver Expressão 34), equiparando o painel solar a um permutador de calor ar/ar. Desprezou-se as trocas de calor por condução do alumínio, e assumiu-se que existe apenas troca de calor entre o ar na superfície do painel (fluido quente), e o ar que passa dentro dos cilindros de alumínio (fluido frio).

$$\Delta T_{ln} = \frac{(q_e - f_s) - (q_s - f_e)}{\ln\left(\frac{(q_e - f_s)}{(q_s - f_e)}\right)} \quad (34)$$

Em que:

q_e - Temperatura do fluido quente à entrada [°C];

q_s - Temperatura do fluido quente à saída [°C];

f_e - Temperatura do fluido frio à entrada [°C];

f_s - Temperatura do fluido frio à saída [°C];

ΔT_{ln} - Diferença logarítmica de temperaturas [°C]

Os resultados do ΔT_{ln} para os diferentes biomas são apresentados na tabela 47.

Tabela 45 - Resultados do Δt_{ln} para os diferentes biomas

Bioma	Δt_{ln} (°C)
Floresta tropical	10,380
Mesozoico	11,130
Dunas	11,314
Savana	11,497
Deserto	10,188

A fórmula que permite determinar o coeficiente global de transferência de calor é a seguinte:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_q} + \frac{e}{k_{Aluminio}} + \frac{1}{h_f}} \quad (30)$$

Em que:

h - coeficiente de calor de convecção [W/m²·K]

k - condutividade do alumínio [W/m K]

e - espessura da parede das latas de alumínio [m]

q – Fluido quente

f – Fluido frio

U – Coeficiente global de transferência de calor [W/m²K]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0,00024}{237} + \frac{1}{15}} = 7,5 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (30)$$

Uma lata de refrigerante típica tem as dimensões apresentadas na tabela 48. O painel solar tem dois metros de comprimento, por um metro de comprimento.

Tabela 46 - Dimensões de uma lata de refrigerante típica

	Lata
Raio	3,2 cm
Altura	12,4 cm

A área de transferência de calor de uma fila de latas de alumínio é dada em função da área lateral de uma lata e do comprimento do permutador:

$$A = 2 \times \text{raio} \times \pi \times \text{comprimento do permutador} = 0,402 \text{ m}^2 \quad (35)$$

Para determinar quantas filas de latas terá este permutador de um metro de altura, recorreu-se à expressão seguinte:

$$N^{\circ} \text{ filas} = \frac{\text{largura do permutador}}{\text{diâmetro da base da lata}} \quad (36)$$

$$N^{\circ} \text{ filas} = \frac{1}{2 \times 0,32} \approx 15 \text{ filas} \quad (36)$$

A área total de transferência de calor do permutador é o produto da área de transferência de uma fila por o número total de filas:

$$\hat{A}rea = 15 \times 0,402 = 6,03m^2 \quad (37)$$

A expressão 29, só é valida para permutadores simples. Para permutadores mais complexos, multitubulares com ou sem diversos passes na carcaça – ou correntes cruzadas, o cálculo da diferença de temperaturas é quase impossível de determinar. O procedimento usual é introduzir um fator de correção (Fc). Existem vários diagramas para determinar este fator em função das diversas geometrias dos permutadores. Este permutador é comparável ao caso de um permutador de tubos com uma passagem na carcaça, (ver figura 21).

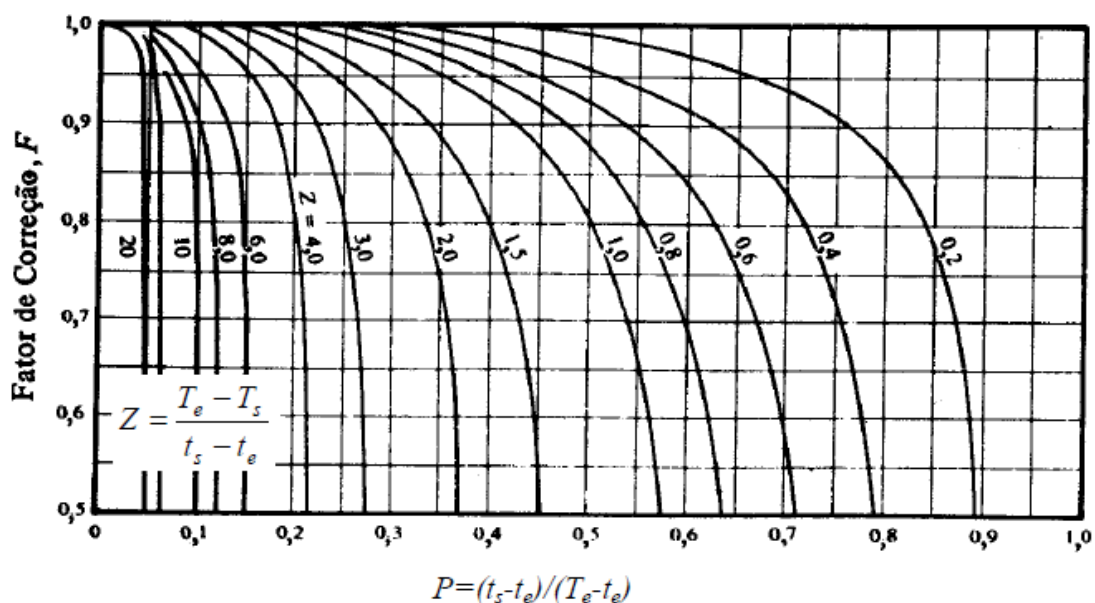


Figura 19 - Diagrama de um permutador tubos com uma passagem na carcaça

Para a determinação do fator de correção determinou-se os valores dos fatores intermédios Z e P. Os valores de Z e P bem como o respetivo fator de correção Fc encontram-se na tabela 49.

Tabela 47 - Resultados para os fatores diversos fatores

Bioma	Z	P	Fc
-------	---	---	----

Floresta tropical	0	0,58	1
Mesozoico	0	0,63	1
Dunas	0	0,64	1
Savana	0	0,65	1
Deserto	0	0,57	1

Com estes valores determinados, procedeu-se à determinação da potência do permutador através da seguinte Expressão:

$$Q = A \times U \times \Delta T \ln \times Fc \quad (29)$$

Em que:

Q – Potencia do permutador [W]

A – Área de transferência [m²]

U – Coeficiente global de transferência de calor (ar/ar) [W/m²K]

Fc – Fator de correção para um permutador simples de uma só passagem

A tabela seguinte mostra os resultados.

Tabela 48 - Resultados do cálculo da potência do painel

Bioma	Área de transferência (m ²)	$\Delta t \ln$ (°C)	U (W/m ² K)	Q potência fornecida pelo painel (W)
Floresta tropical	6,0288	10,380	7,500	469
Mesozoico		11,130		503
Dunas		11,314		512
Savana		11,497		520
Deserto		10,188		461

Admitindo que a eficiência de um painel solar será de 15%, corrija o valor da potência do painel.

Tabela 49 - Potência fornecida ao ar por um painel

Bioma	Q potência fornecida pelo painel (W)
Floresta tropical	141
Mesozoico	151
Dunas	153
Savana	156
Deserto	138

Anexo E. Análise de Investimentos

Os cálculos detalhados do valor atual líquido (VAL) e *Payback*.

$$VAL = -I + (R - C) \left[\frac{(1 + a)^n - 1}{a(1 + a)^n} \right] \quad (38)$$

$$Payback = \frac{I}{R - C} \quad (39)$$

Em que:

VAL – Valor atual líquido [€];

I – Investimento inicial [€]

R – Receita obtida [€]

C – Custo associados [€]

a – Taxa de financiamento do capital

n – Estimativa da vida útil do investimento [anos]

Na tabela 51, são apresentados os valores assumidos.

Tabela 50 - Resumo dos resultados da análise financeira

	Painel solar	Acumulador de calor
Investimento	200 €	250 €
Custos	40 €	50 €
Proveito	850 €	564 €
N (vida útil)	5 anos	20 anos
a (taxa de finc)	0,1 %	0,1 %
<i>Payback</i>	0,2 anos	0,5 anos
VAL	2870,54 €	4129,38 €

Anexo F. Cálculo detalhado do Caudal de Ar

O caudal de ar foi calculado com recurso á Expressão 22.

$$Q_{ec} = 1,91 \times A_e \times \sqrt{h \frac{\Delta t_{avg}}{t_e + 273}} \sqrt{\frac{2A_s^2}{A_e^2 + A_s^2}} \quad (22)$$

Em que:

Q_{ec} = Caudal de entrada de ar [m^3/s]

A_e = Área das aberturas de entrada de ar [m^2]

A_s = Área das aberturas de saída de ar [m^2]

h = Distância vertical entre as aberturas de entrada e saída de ar [m]

Δt_{avg} = Diferença de temperaturas entre ar interno e externo [$^{\circ}C$]

T_e = Temperatura do ar externo [$^{\circ}C$]

Na tabela seguinte apresentam-se os cálculos detalhados.

	Área entrada (m^2)	Área de saída (m^2)	Diferença de alturas (m)	T_e ($^{\circ}C$)	Δt_{avg} ($^{\circ}C$)	Q_{ec} (m^3/s)	m (kg/s)
Floresta tropical	12	6	7,83	29,8	0,2	1,04	1,26
Mesozoico	8	4		29,8	0,2	0,69	0,84
Dunas	8	4		29,8	0,7	1,30	1,57
Savana	8	4		29,8	0,7	1,30	1,57
Deserto	8	4		29,8	0,7	1,30	1,57

O detalhe do cálculo da diferença de temperaturas encontra-se na Tabela seguinte.

Temperatura ar interno ($^{\circ}C$)	t_e ($^{\circ}C$)	Δt_{avg} ($^{\circ}C$)
30	29,8	0,2
30	29,8	0,2
30,5	29,8	0,7
30,5	29,8	0,7
30,5	29,8	0,7

